

## 日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1998年 9月18日

出 願 番 号

Application Number:

平成10年特許願第265372号

出 願 人

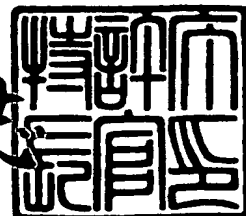
Applicant(s):

セイコーインスツルメンツ株式会社

1999年 7月16日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

伴佐山 建志



出証番号 出証特平11-3050615

【書類名】 特許願

【整理番号】 98000521

【提出日】 平成10年 9月18日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H02N 2/00

【発明の名称】 圧電アクチュエータおよび圧電アクチュエータ付電子機器

【請求項の数】 12

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 セイコーインスツルメンツ株式会社内

【氏名】 飯野 朗弘

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 セイコーインスツルメンツ株式会社内

【氏名】 春日 政雄

【特許出願人】

【識別番号】 000002325

【氏名又は名称】 セイコーインスツルメンツ株式会社

【代表者】 伊藤 潔

【代理人】

【識別番号】 100096286

【弁理士】

【氏名又は名称】 林 敬之助

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008246

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9003012

【プルーフの要否】 不要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 圧電アクチュエータおよび圧電アクチュエータ付電子機器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力された駆動信号に従って歪んで駆動力を生じる圧電素子を備えた圧電アクチュエータにおいて、

前記圧電素子は、厚さを変えた複数の圧電体を積層して形成、もしくは構成されることを特徴とする圧電アクチュエータ。

【請求項 2】 前記複数の圧電体の各々の厚さは、前記圧電素子の歪み分布に応じて変えられるものであり、歪みが大きい側にある圧電体の厚みは歪みが小さい側にある圧電体の厚さより薄いことを特徴とする請求項 1 記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 3】 前記複数の圧電体の少なくとも 2 つは、同一の振動を生じることを特徴とする請求項 2 記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 4】 前記複数の圧電体は、該圧電アクチュエータの駆動力取り出し部に対して平行な方向に積層されることを特徴とする請求項 2 または請求項 3 に記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 5】 前記複数の圧電体は、該圧電アクチュエータの駆動力取り出し部に対して垂直な方向に積層されることを特徴とする請求項 2 または請求項 3 に記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 6】 前記圧電素子に生じる二種類の異なる振動の合成振動を駆動力として用いる超音波モータであって、

前記二種類の異なる振動は別個の圧電体により励振されることを特徴とする請求項 1 ～請求項 3 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 7】 振動検出用の圧電体を有する圧電アクチュエータであって、前記振動検出用の圧電体は、他の圧電体と厚みが異なることを特徴とする請求項 1 ～請求項 6 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 8】 前記複数の圧電体の厚さと、該複数の圧電体の上に一体的に積層した振動体の厚さとが等しい超音波モータであることを特徴とする請求項 1 ～7 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 9】 外部の力に従って歪んで電気信号を発生する圧電素子を備えた圧電センサにおいて、

前記圧電素子は、厚さを変えた複数の圧電体を積層して形成、もしくは構成されることを特徴とする圧電センサ。

【請求項 10】 前記複数の圧電体の各々の厚さは、前記圧電素子の歪み分布に応じて変えられるものであり、歪みが大きい側にある圧電体の厚みは歪みが小さい側にある圧電体の厚さより薄いことを特徴とする請求項 9 記載の圧電センサ。

【請求項 11】 請求項 1～請求項 8 のいずれかに記載の圧電アクチュエータを用いることを特徴とする圧電アクチュエータ付電子機器。

【請求項 12】 請求項 9～請求項 10 のいずれかに記載の圧電センサを用いることを特徴とする圧電センサ付電子機器。

【発明の詳細な説明】

【発明の属する技術分野】

【0001】

本発明は、超音波モータやバイモルフ型に代表され、時計、カメラ、プリンタ、記憶装置など用いられる圧電アクチュエータに係わり、特に、従来より出力を向上させた圧電アクチュエータに関する。

【0002】

【従来の技術】

近時、交流電圧などの駆動信号を加えられた圧電体に発生する振動を、移動体を動かす動力として利用する圧電アクチュエータは、電気-機械エネルギー変換効率が高いため、特にマイクロメカニクス分野において注目されている。

【0003】

ここで、圧電アクチュエータの従来例である圧電アクチュエータ 100 について、図 13 を用いて説明する。

【0004】

まず、圧電アクチュエータ 100 の構成について説明する。

圧電アクチュエータ 100 は、図 13 (A) に示すように、金属からなる直方体

の弾性板 101 と、弾性板 101 の一面に一体的に積層される圧電体 102 と、弾性板 101 の他面に積層される圧電体 103 と、により概略構成される。

ここで、圧電体 102 と圧電体 103 とは厚み方向に分極されている。また、その分極方向は、例えば弾性板 101 と接する面 102a と面 103a はそれぞれ－および＋であり、また、これらの反対側の面 102b と 103b とはそれぞれ＋および－である。すなわち、圧電体 102、103 は逆方向に分極されている。

また、面 102b、103b にはそれぞれほぼ全面を覆うように電極を設けられている。なお、面 102a、103a には、弾性板 101 が電極を兼ねる。

#### 【0005】

次に、圧電アクチュエータ 100 の動作について説明する。

#### 【0006】

まず、図 13 (A) に示すように、面 102b、103b の電極を一極とし、弾性板 101 を＋極として、電圧を加える。

圧電体 102 は、面 102b および面 102a の分極方向とは逆の方向に電圧を加えられるため、長手方向に伸長する。

圧電体 103 は、面 103a および面 102b の分極方向と一致する方向に電圧を加えられるため、長手方向に収縮する。

この結果、圧電アクチュエータ 100 は、図 13 (B) の矢印 X に示す方向に湾曲して、移動体（図示省略）をこの湾曲方向に動かす駆動力を生じる。

#### 【0007】

また、面 102b、103b を＋極とし、面 102a、103a を－極として、電圧を加えると、矢印 X とは逆の方向に湾曲して、前記移動体を同図 (B) とは逆の方向に動かす駆動力を生じる。

#### 【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、圧電アクチュエータ 100 は、弾性板 101 を挟んでそれぞれ 1 枚の圧電体 102、103 を一体的に積層したのみであるため、その出力、変位には上限があった。

また、圧電アクチュエータ 100 の改良技術として、図 13 (C) に示す、圧電体 102, 103 の上にそれぞれ圧電体 102, 103 と同一の構成を有する圧電体 104 および圧電体 105 を積層した圧電アクチュエータ 110 があったが、電圧の大きさ、つまり入力した電力の割にはその出力、変位は大きくはならなかった。また、条件によっては、圧電アクチュエータ 110 の出力、変位は圧電アクチュエータ 100 の出力より小さくなる場合もあった。

#### 【0009】

ここで、本発明者は、前述した圧電アクチュエータ 110 の問題は、圧電体 104 の伸長量を、歪みの中立面を含む弾性板 101 より遠方にあるため、圧電体 102 の伸長量より大きくする必要があるにもかかわらず、圧電体 102 と同一の圧電体を用いて同一の伸長量としたこと、及び、圧電体 105 の収縮量を、弾性板 101 より遠方にあるため圧電体 103 の収縮量より大きくする必要があるにもかかわらず、圧電体 103 と同一の圧電体を用いて同一の伸長量としたことにあると考えた。

すなわち、圧電体 104 は圧電体 102 の伸長を妨げる結果となり、また、圧電体 105 は圧電体 103 の収縮を妨げる結果となっていた、ということである。

本発明は、前述した考えに基づいて設計された、複数の圧電体の駆動力を損なうことなく外部に伝達する圧電アクチュエータを提供することを目的とする。

#### 【0010】

##### 【課題を解決するための手段】

すなわち、上記課題を解決する手段は、請求項 1 に記載するように、  
入力された駆動信号に従って歪んで駆動力を生じる圧電素子を備えた圧電アクチュエータにおいて、

前記圧電素子は、他の圧電体の動作を妨げないように厚さを変えた複数の圧電体を一体的に積層して形成される圧電アクチュエータであることを特徴とする。

#### 【0011】

以上の解決手段にあって、圧電アクチュエータは、例えばバイモルフ型の圧電アクチュエータや、超音波モータである。

また、圧電体の材料に限定はない。

さらに、前記複数の圧電体の各々の厚さは、該圧電体の動作及び位置に応じて適宜調節される。基本的には、より大きく歪む必要のある圧電体はより薄くする。ここで、前記複数の圧電体は、すべてが異なる厚さであってもよいし、一部は同じ厚さとしてもよい。

【0012】

この解決手段によれば、圧電体の厚さを該圧電体の動作及び位置に応じて適宜調節することにより、各圧電体は、他の圧電体の動作を妨げることなくすべて圧電アクチュエーターの動作に寄与する。従って、同一消費電力においては従来より出力は大きく、かつ、同一出力においては従来と比べて小型化するとともに消費電力を減少した、圧電アクチュエータを作製できる。

【0013】

また、請求項2記載の発明は、請求項1記載の圧電アクチュエータにおいて、前記複数の圧電体の各々の厚さは、該圧電体より前記圧電素子の歪みの中立面側にある他の圧電体の厚さより薄いことを特徴とする。

【0014】

この解決手段によれば、前記複数の圧電体の各々の厚さは、該圧電体より前記圧電素子の歪みの中立面側にある他の圧電体の厚さより薄いので、各圧電体は、他の圧電体の動作を妨げることなくすべて圧電アクチュエーターの動作に寄与する。従って、同一消費電力においては従来より出力は大きく、かつ、同一出力においては従来と比べて小型化するとともに消費電力を減少した、圧電アクチュエータを作製できる。

【0015】

また、請求項3記載の発明は、請求項2記載の圧電アクチュエータにおいて、前記複数の圧電体の少なくとも2つは、同一の振動を生じることを特徴とする。

【0016】

ここで、前記複数の圧電体はすべて同一の振動を生じてよい。

また、前記圧電アクチュエータが超音波モータである場合は、前記同一の振動としては、例えば縦振動や曲げ振動、ねじり振動を含む。



【0017】

この解決手段によれば、前記複数の圧電体の少なくとも一部は同一の振動を生じるので、該振動は従来よりも大きくなり、従って、同一消費電力においては従来より出力は大きく、かつ、同一出力においては従来と比べて小型化するとともに消費電力を減少した、圧電アクチュエータを作製できる。

【0018】

また、請求項4記載の発明は、請求項2または請求項3に記載の圧電アクチュエータにおいて、

前記複数の圧電体は、該圧電アクチュエータの駆動力取り出し部に対して平行な方向に積層されることを特徴とする。

【0019】

この解決手段によれば、請求項2または請求項3記載の発明と同様の効果を得る。

【0020】

また、請求項5記載の発明は、請求項2または請求項3に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記複数の圧電体は、該圧電アクチュエータの駆動力取り出し部に対して垂直な方向に積層されることを特徴とする。

【0021】

この解決手段によれば、請求項2または請求項3記載の発明と同様の効果を得る。

【0022】

また、請求項6記載の発明は、請求項1～請求項3のいずれかに記載の圧電アクチュエータにおいて、

前記圧電素子に生じる二種類の異なる振動の合成振動を駆動力として用いる超音波モータであって、前記二種類の異なる振動は別個の圧電体により励振されることを特徴とする。

【0023】

ここで、前記二種類の異なる振動としては、例えばねじり振動と伸び振動であり、または、曲げ振動と伸び振動であるが、これらに限定されない。

さらに、各種の振動を励振する圧電体は、通常それぞれ複数あり、また、それぞれの振動毎に、他の圧電体の振動すなわち歪みを妨げないように厚みを調製する。

【0024】

この解決手段によれば、請求項1～請求項3に記載の発明と同様の作用を得るほか、前記複数の圧電体の厚さを調節することにより、前記二種類の異なる振動の大きさを最適な比に調節できる。

【0025】

また、請求項7記載の発明は、請求項1～請求項6のいずれかに記載の圧電アクチュエータにおいて、振動検出用の圧電体を有する圧電アクチュエータであって、前記振動検出用の圧電体は、他の圧電体と厚みが異なることを特徴とする。通常は歪みの大きい部分に駆動用の圧電素子を配置する為、歪みの小さな部分に配置される検出用の圧電素子の厚みは薄い方が検出能力は高まる。

【0026】

この解決手段によれば、前記振動検出用の圧電体は、駆動力源として用いられる圧電体の歪みを妨げず、また、より高い検出力を発揮する。従って、圧電体アクチュエータの制御精度は向上する。

【0027】

また、請求項8記載の発明は、請求項1～7のいずれかに記載の圧電アクチュエータにおいて、

前記複数の圧電体の厚さと、該複数の圧電体の上に一体的に積層した振動体の厚さとが等しい超音波モータであることを特徴とする。

【0028】

この解決手段によれば、前記複数の圧電体に生じた駆動力は最も効率よく前記振動体に伝わるので、同一消費電力においては従来より出力は大きく、かつ、同一出力においては従来と比べて小型化するとともに消費電力を減少した、超音波モータを作製できる。

【0029】

また、請求項 11 記載の発明は、請求項 1～請求項 8 のいずれかに記載の圧電アクチュエータを用いる圧電アクチュエータ付電子機器であることを特徴とする。

【0030】

ここで、前記電子機器としては、例えば電子時計、計測器、カメラ、プリンタ、印刷機、工作機械、ロボット、移動装置、記憶装置などがある。

【0031】

この解決手段によれば、従来の超音波モータと比べて小電力で出力の大きい請求項 1～請求項 8 のいずれかに記載の超音波モータを用いるので、超音波モータの大きさを小型化できるので、超音波モータ付電子機器を小型化できるとともに省電力化が図れる。

【0032】

【発明の実施の形態】

以下、図 1～図 12 を参照して、本発明を適用した実施例を詳細に説明する。

【0033】

<第一の実施例>

図 1 は、本発明の第一の実施例である、圧電アクチュエータ 1 の構成を示す断面図である。

【0034】

まず、圧電アクチュエータ 1 の構成について説明する。

圧電アクチュエータ 1 は、直方体の圧電体 11 と、圧電体 11 の上面に一体的に積層した直方体の圧電体 12 と、圧電体 12 の上面に一体的に積層した直方体の圧電体 13 と、圧電体 11 の下面に一体的に積層した直方体の圧電体 14 と、圧電体 14 の下面に一体的に積層した直方体の圧電体 15 と、圧電体 15 の下面に一体的に積層した直方体の圧電体 16 と、により概略構成され、一端を固定端とし、他端を解放端とする。

【0035】

ここで、圧電体 11 と圧電体 12 の界面には電極 17a を、圧電体 12 と圧電体 13 の界面には電極 17b を、圧電体 13 の電極 17b と対向する面には電極

17cを、圧電体11と圧電体14の界面（歪みの中立面）には電極17dを、圧電体14と圧電体15の界面には電極17eを、圧電体15と圧電体16の界面には電極17fを、圧電体15の電極17bと対向する面には電極17gを、それぞれ周縁部を除いた全面を覆うように設ける。

また、電極17a, 17c, 17e, 17gは相互に導通しており、さらに、電極17b, 17d, 17fは相互に導通している。

【0036】

圧電体11は、例えばチタン酸バリウムから作製され、分極方向は積層方向であり、その分極極性は、電極17aと接する面を+に、電極17dと接する面を-とする。

【0037】

圧電体12は、圧電体11と同じ物質から構成され、その表面形状は、積層面は圧電体11と同じであり、かつ、厚みは圧電体11よりも薄い。また、分極方向は積層方向であり、その分極極性は、電極17aと接する面を+に、電極17bと接する面を-とする。

【0038】

圧電体13は、圧電体11と同じ物質から構成され、その表面形状は、積層面は圧電体12と同じであり、かつ、厚みは圧電体12よりも薄い。また、分極方向は積層方向であり、その分極極性は、電極17bと接する面を-に、電極17cと接する面を+とする。

【0039】

圧電体14は、圧電体11とほぼ同じ形状であり、圧電体11と同じ物質から構成される。また、分極方向は積層方向であり、その分極極性は、電極17dと接する面を+に、電極17eと接する面を-とする。

【0040】

圧電体15は、圧電体12とほぼ同じ形状であり、圧電体11と同じ物質から構成される。また、分極方向は積層方向であり、その分極極性は、電極17eと接する面を-に、電極17fと接する面を+とする。

【0041】

圧電体 16 は、圧電体 13 とほぼ同じ形状であり、圧電体 11 と同じ物質から構成される。また、分極方向は積層方向であり、その分極極性は、電極 17f と接する面を+に、電極 17g と接する面を-とする。

【0042】

次に、圧電アクチュエータ 1 の動作について説明する。

【0043】

圧電アクチュエータ 1 に、電極 17a, 17c, 17e, 17g を+極として、かつ、電極 17b, 17d, 17f を-極として電圧を加えた場合を考える。

【0044】

圧電体 11 は、+に分極された面は電極 17a、すなわち+極と接しており、-に分極された面は電極 17d、すなわち-極と接しているため、長手方向に収縮する。

【0045】

同様に、圧電体 12 は、+に分極された面は電極 17a、すなわち+極と接しており、-に分極された面は電極 17b、すなわち-極と接しているため、長手方向に収縮する。

ここで、圧電体 12 は圧電体 11 より薄いため、圧電体 11 と同じ電圧を加えられるにもかかわらず、圧電体 11 よりも多く収縮する。

【0046】

同様に、圧電体 13 は、-に分極された面は電極 17b、すなわち-極と接しており、+に分極された面は電極 17c、すなわち+極と接しているため、長手方向に収縮する。

ここで、圧電体 13 は圧電体 12 より薄いため、圧電体 12 と同じ電圧を加えられるにもかかわらず、圧電体 12 よりも多く収縮する。

【0047】

また、圧電体 14 は、+に分極された面は電極 17d、すなわち-極と接しており、-に分極された面は電極 17e、すなわち+極と接しているため、長手方向に伸長する。

【0048】

同様に、圧電体 15 は、+ に分極された面は電極 17 e、すなわち - 極と接しており、- に分極された面は電極 17 f、すなわち + 極と接しているため、長手方向に伸長する。

ここで、圧電体 15 は圧電体 14 より薄いため、圧電体 14 と同じ電圧を加えられるにもかかわらず、圧電体 14 よりも多く伸長する。

【0049】

同様に、圧電体 16 は、- に分極された面は電極 17 f、すなわち + 極と接しており、+ に分極された面は電極 17 g、すなわち - 極と接しているため、長手方向に伸長する。

ここで、圧電体 13 は圧電体 12 より薄いため、圧電体 12 と同じ電圧を加えられるにもかかわらず、圧電体 12 よりも多く伸長する。

【0050】

この結果、圧電アクチュエータ 1 において、圧電体 11, 12, 13 は、電極 17 d を歪みの中立面として収縮し、圧電体 14, 15, 16 は、電極 17 d を歪みの中立面として伸長するため、図 1 に示す矢印 X 方向の駆動力が発生する。ここで、圧電体 11, 12, 13 において、最も多く収縮する圧電体は、歪みの中立面である電極 17 d から最も遠く位置する圧電体 13 であり、また、最も少なく収縮する圧電体は、電極 17 d の直上にある圧電体 11 である。このため、圧電体 12 は圧電体 11 の収縮を妨げることなく圧電アクチュエータ 1 の駆動力を増大させ、圧電体 13 も圧電体 11, 12 の収縮を妨げることなく圧電アクチュエータ 1 の駆動力を増大させる。

同様に、圧電体 14, 15, 16 において、最も多く伸長する圧電体は、電極 17 d より最も遠く位置する圧電体 16 であり、また、最も少なく伸長する圧電体は、電極 17 d の直上にある圧電体 14 である。このため、圧電体 15 は圧電体 14 の伸長を妨げることなく圧電アクチュエータ 1 の駆動力を増大させ、圧電体 16 も圧電体 14, 15 の伸長を妨げることなく圧電アクチュエータ 1 に駆動力の駆動力、変位を増大させる。

【0051】

また、逆に、圧電アクチュエータ 1 の電極 17 a, 17 c, 17 e, 17 g を

一極として、また、電極 17b, 17d, 17f を＋極として電圧を加えると、圧電体 11, 12, 13 は、電極 17d を歪みの中立面として伸長し、圧電体 14, 15, 16 は、電極 17d を歪みの中立面として収縮するため、矢印 X とは逆方向の駆動力を生じる。

ここで、圧電体 11, 12, 13 において、最も多く伸長する圧電体は、電極 17d より最も遠く位置する圧電体 13 であり、最も少なく伸長する圧電体は、電極 17d の直上にある圧電体 11 である。このため、圧電体 12 は圧電体 11 の伸長を妨げることなく圧電アクチュエータ 1 の駆動力を増大させ、圧電体 13 も圧電体 11, 12 の伸長を妨げることなく圧電アクチュエータ 1 の駆動力、変位を増大させる。

同様に、圧電体 14, 15, 16 において、最も多く収縮する圧電体は、電極 17d より最も遠く位置する圧電体 16 であり、最も少なく収縮する圧電体は、電極 17d の直上にある圧電体 14 である。このため、圧電体 15 は圧電体 14 の収縮を妨げることなく圧電アクチュエータ 1 の駆動力を増大させ、圧電体 16 も圧電体 14, 15 の収縮を妨げることなく圧電アクチュエータ 1 の駆動力、変位を増大させる。

#### 【0052】

以上より、本発明の実施例である圧電アクチュエータ 1 によれば、圧電体 11 の表面に、圧電体 11 より薄くて圧電体 11 と同一の電圧にて同一の方向に伸長・収縮する圧電体 12 と、圧電体 12 より薄くて圧電体 11 と同一の電圧にて同一の方向に伸長・収縮する圧電体 13 を一体的に積層し、圧電体 11 の裏面には圧電体 11 と同一の電圧にて逆方向に収縮・伸長する圧電体 14 と、圧電体 14 より薄くて圧電体 14 と同一の電圧にて同一の方向に収縮・伸長する圧電体 15 と、圧電体 15 より薄くて圧電体 14 と同一の電圧にて同一の方向に収縮・伸長する圧電体 16 を一体的に積層したので、圧電体 11, 12, 13, 14, 15, 16 の各々の伸長・収縮は、他の圧電体の伸長・収縮を妨げることなく、すべて駆動力に寄与する。

従って、圧電アクチュエータ 1 は、簡単な構造であり、かつ、従来より出力及び効率を増大させた圧電アクチュエータとなるので、同一出力においては、従来

と比べて小型化できるとともに消費電力を減少できる。

【0053】

なお、本実施例は、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において任意の変形が可能である。

例えば、圧電体 11～16 の材料としては、任意の圧電材料を用いることができる。

また、圧電体 11～16 の厚さの最適比は一義的に決まるものではなく、圧電材料の電気機械結合係数や、圧電体 11～16 の積層面の表面積など複数の因子により決まる。

さらに各圧電体の分極方向や電極の構造は本実施例に限られるものではなく、歪みの中立面を境にそれぞれ同一の方向に伸長あるいは収縮さえすれば、任意に変形してよい。

また、圧電体の積層枚数も中立面を境に同数である必要はなく、それぞれ複数でさえすればよい。特に、これらの積層数が 3 以上である場合は、すべての圧電体の厚さが異なる必要はなく、一部同じであっても、本発明の効果を得られる。また、例えば自由端に重りをつければ上記と逆の効果で出力信号が大きな加速度センサや力センサが実現できる。

【0054】

<第二の実施例>

図 2 は、本発明の第二の実施例である、圧電アクチュエータ 2 の構成を示す断面図である。

【0055】

まず、圧電アクチュエータ 2 の構成について説明する。

圧電アクチュエータ 2 は、一つの直方体を形成するように長手方向に一体的に並べられた 6 個の直方体の圧電体 21a, 圧電体 21b, 圧電体 21c, 圧電体 21d, 圧電体 21e, 圧電体 21f と、長手方向の長さが圧電体 21 の半分であり 6 個の圧電体 21 の上面に一体的に積層した 12 個の直方体の圧電体 22a, 圧電体 22b, 圧電体 22c, 圧電体 22d, 圧電体 22e, 圧電体 22f, 圧電体 22g, 圧電体 22h, 圧電体 22i, 圧電体 22j, 圧電体 22k, 圧



電体 221 と、圧電体 21 と同一の形状をしており圧電体 21 の下面に一体的に積層した 6 個の圧電体 23a, 圧電体 23b, 圧電体 23c, 圧電体 23d, 圧電体 23e, 圧電体 23f と、圧電体 22 と同一の形状をしており 6 個の圧電体 23 の下面に一体的に積層した 12 個の直方体の圧電体 24a, 圧電体 24b, 圧電体 24c, 圧電体 24d, 圧電体 24e, 圧電体 24f, 圧電体 24g, 圧電体 24h, 圧電体 24i, 圧電体 24bj, 圧電体 24bk, 圧電体 24l と、により概略構成され、一端を固定端とし、他端を解放端とする。

また、本発明における歪みの中立面は、圧電体 21a~21f の下面とする

【0056】

圧電体 21a~21f, 22a~22l, 23a~23f, 24a~24l は例えばチタン酸バリウム、チタン酸ジルコン酸鉛から作製されており、また、これらの分極方向は長手方向である。さらに、各圧電体の積層方向における厚さは等しいものとする。

【0057】

圧電体 21a, 21c, 21e の分極極性は、前記固定端側を+に、前記解放端側を-とし、圧電体 21b, 21d, 21f の分極極性は、前記固定端側を-に、前記解放端側を+とする。

【0058】

また、圧電体 22a, 22b, 22e, 22f, 22i, 22j の分極極性は、前記固定端側を-に、前記解放端側を+とし、圧電体 22c, 22d, 22g, 22h, 22k, 22l の分極極性は、前記固定端側を+に、前記解放端側を-とする。

【0059】

また、圧電体 23a, 23c, 23e の分極極性は、前記固定端側を-に、前記解放端側を+とし、圧電体 23b, 23d, 23f の分極極性は、前記固定端側を-に、前記解放端側を+とする。

【0060】

また、圧電体 24a, 24b, 24e, 24f, 24i, 24j の分極極性は、固定端側を+に、解放端側を-とし、圧電体 24c, 24d, 24g, 24h

、24k、24lの分極極性は、固定端側を-に、解放端側を+とする。

【0061】

さらに、隣接する圧電体21a～21f間の各界面には、前記固定端側からそれぞれ、電極25a、電極25b、電極25c、電極25d、電極25eを、圧電体22a～22l間の各界面および圧電体23a～23f間の各界面および圧電体24a～24l間の各界面のほぼ全面を覆うように連続して設ける。

【0062】

さらに、圧電体21a、22a、23a、24aの固定端面および圧電体21f、22e、23f、24eの解放端面には、それぞれほぼ全面を覆うように電極25fおよび電極25gを設ける。

【0063】

さらに、圧電体22a、22c、22e、22g、22i、22kの解放端側の側面には電極26a、電極26c、電極26e、電極26g、電極26i、電極26kを、圧電体22b、22d、22f、22h、22j、22lの固定端側の側面には電極26b、電極26d、電極26f、電極26h、電極26j、電極26lを、それぞれ設ける。

【0064】

さらに、圧電体24a、24c、24e、24g、24i、24kの解放端側の側面には電極27a、電極27c、電極27e、電極27g、電極27i、電極27kを、圧電体24b、24d、24f、24h、24j、24lの固定端側の側面には電極27b、電極27d、電極27f、電極27h、電極27j、電極27lを、それぞれ設ける。

【0065】

ここで、電極25a、25c、25e、26a、26d、26e、26h、26i、26l、27a、27d、27e、27h、27i、27lは相互に導通しており、さらに、電極25b、25d、25f、25g、26b、26c、26f、26g、26j、26k、27b、27c、27f、27g、27j、27kは相互に導通している。

【0066】

次に、圧電アクチュエータ 2 の動作について説明する。

【0067】

圧電アクチュエータ 2 に、電極 25 a, 25 c, 25 e, 26 a, 26 d, 26 e, 26 h, 26 i, 26 l, 27 a, 27 d, 27 e, 27 h, 27 i, 27 l を一極として、また、電極 25 b, 25 d, 25 f, 25 g, 26 b, 26 c, 26 f, 26 g, 26 j, 26 k, 27 b, 27 c, 27 f, 27 g, 27 j, 27 k を + 極として電圧を加えた場合を考える。

【0068】

圧電体 21 a, 21 b, 21 c, 21 d, 21 e, 21 f は、それぞれ、+ に分極された面は、電極 25 f, 25 b, 25 d, 25 g、すなわち + 極と接しており、- に分極された面は、電極 25 a, 25 c, 25 e、すなわち - 極と接しているため、長手方向に収縮する。

【0069】

また、圧電体 22 a, 22 b, 22 c, 22 d, 22 e, 22 f, 22 g, 22 h, 22 i, 22 j, 22 k, 22 l は、それぞれ、+ に分極された面は、電極 25 f, 26 b, 26 c, 25 b, 25 b, 26 f, 26 g, 25 d, 25 d, 26 j, 26 k, 25 g、すなわち + 極と接しており、- に分極された面は、電極 26 a, 25 a, 25 a, 26 d, 26 e, 25 c, 25 c, 26 h, 26 i, 25 e, 25 e, 26 l、すなわち - 極と接しているため、長手方向に収縮する。

ここで、圧電体 22 a ~ 22 l は、長手方向すなわち電圧の印加方向において圧電体 21 a ~ 21 f の半分の長さであるため、同一の電圧を加えられるにもかかわらず、圧電体 21 a ~ 21 f のおおよそ 2 倍ほど収縮する。

【0070】

また、圧電体 23 a, 23 b, 23 c, 23 d, 23 e, 23 f は、それぞれ、+ に分極された面は、電極 25 a, 25 c, 25 e、すなわち - 極と接しており、- に分極された面は、電極 25 f, 25 b, 25 d, 25 g、すなわち + 極と接しているため、長手方向に伸長する。

【0071】

また、圧電体24a, 24b, 24c, 24d, 24e, 24f, 24g, 24h, 24i, 24j, 24k, 24lは、それぞれ、+に分極された面は、電極27a, 25a, 25a, 27d, 27e, 25c, 25c, 27h, 27i, 25e, 25e, 27l、すなわち一極と接しており、-に分極された面は、電極25f, 27b, 27c, 25b, 25b, 27f, 27g, 25d, 25d, 27j, 27k, 25g、すなわち+極と接しているため、長手方向に伸長する。

ここで、圧電体24a~24lは、長手方向すなわち電圧の印加方向において圧電体23a~23fの半分の長さであるため、同一の電圧を加えられるにもかかわらず、圧電体23a~23fのおおよそ2倍ほど伸長する。

#### 【0072】

この結果、圧電アクチュエータ2において、圧電体21a~21f, 22a~22lは、圧電体21a~21fの下面を歪みの中立面として収縮し、圧電体23a~23f, 24a~24lは、圧電体23a~23fを歪みの中立面として伸長するため、図2に示す矢印X方向の駆動力を生じる。

ここで、圧電体21a~21f, 22a~22lにおいて、圧電体21a~21fの下面に対して、より遠く位置する圧電体22a~22lの収縮量は圧電体21a~21fの収縮量よりも多いため、圧電体22a~22lは圧電体21a~21fの収縮を妨げることなく圧電アクチュエータ2の駆動力、変位を増大させる。

同様に、圧電体23a~23f, 24a~24lにおいて、圧電体23a~23fの下面に対して、より遠く位置する圧電体24a~24lの伸長量は圧電体23a~23fの伸長量よりも多いため、圧電体24a~24lは圧電体22a~22fの伸長を妨げることなく圧電アクチュエータ2の駆動力、変位を増大させる。

#### 【0073】

また、逆に、圧電アクチュエータ2の電極25a, 25c, 25e, 26a, 26d, 26e, 26h, 26i, 26l, 27a, 27d, 27e, 27h, 27i, 27lを+極として、また、電極25b, 25d, 25f, 25g, 2

6 b, 26 c, 26 f, 26 g, 26 j, 26 k, 27 b, 27 c, 27 f, 27 g, 27 j, 27 kを一極として電圧を加えると、圧電体21 a～21 f, 22 a～22 lは、圧電体21 a～21 fの裏面を歪みの中立面として伸長し、圧電体23 a～23 f, 24 a～24 lは、圧電体23 a～23 fの裏面を歪みの中立面として収縮するため、矢印Xとは逆方向の駆動力を生じる。

ここで、圧電体21 a～21 f, 22 a～22 lにおいて、圧電体21 a～21 fの下面に対して、より遠く位置する圧電体22 a～22 lの伸長量は圧電体21 a～21 fの伸長量よりも多いため、圧電体22 a～22 lは圧電体21 a～21 fの伸長を妨げることなく圧電アクチュエータ2の駆動力、変位を増大させる。

同様に、圧電体23 a～23 f, 24 a～24 lにおいて、圧電体23 a～23 fの下面に対して、より遠く位置する圧電体24 a～24 lの収縮量は圧電体23 a～23 fの収縮量よりも多いため、圧電体24 a～24 lは圧電体22 a～22 fの収縮を妨げることなく圧電アクチュエータ2の駆動力、変位を増大させる。

#### 【0074】

以上より、本発明の実施例である圧電アクチュエータ2によれば、長手方向に一体的に並べた6個の圧電体21 a～21 fの上面に、長手方向の長さが圧電体21 a～21 fの半分であり圧電体21 a～21 fと同一の電圧にて同一の方向に伸長・収縮する12個の圧電体22 a～22 lを一体的に積層し、圧電体21 a～21 fの下面には圧電体21 a～21 fと同一の電圧にて逆方向に収縮・伸長する6個の圧電体23 a～23 fと、長手方向の長さが圧電体23 a～23 fの半分であり圧電体23 a～23 fと同一の電圧にて同一の方向に収縮・伸長する12個の圧電体24 a～24 lを一体的に積層したので、圧電体21 a～21 f, 22 a～22 l, 23 a～23 f, 24 a～24 lの各々の伸長・収縮は、他の圧電体の伸長・収縮を妨げることなく、すべて駆動力、変位に寄与する。

従って、圧電アクチュエータ2は、簡単な構成であり、かつ、従来より出力及び効率を増大させた圧電アクチュエータとなるので、同一出力においては、従来と比べて小型化できるとともに消費電力を減少できる。

【0075】

なお、本実施例は、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において任意の変形が可能である。

例えば、圧電体 21a～21f, 22a～221, 23a～23f, 24a～241 の材料としては、任意の圧電材料を用いることができる。

また、圧電体 22a～221 の長手方向の長さは圧電体 21a～21f の半分である必要はなく、圧電体 21a～21 より短くさえあればよく、また、圧電体 21a～21f の厚さあるいは圧電体 22a～221 の長さがすべて同じである必要はない。

同様に、圧電体 24a～241 の長手方向の長さは圧電体 23a～23f の半分である必要はなく、圧電体 21a～21 より短くさえあればよく、また、圧電体 23a～23f の厚さあるいは圧電体 24a～241 の長さがすべて同じである必要はない。

また、これらの長さの最適比は一義的に決まるものではなく、圧電材料の電気機械結合係数や、各圧電体の積層面の表面積など複数の因子により決まる。

さらに、圧電体 21a～21f, 22a～221, 23a～23f, 24a～241 の厚さをすべて等しくする必要はなく、圧電体 22a～221 の厚さを圧電体 21a～21f より薄くしたり、また、圧電体 23a～23f の厚さを圧電体 24a～241 より薄くしてもよい。

また、各圧電体の分極方向や電極の構造は本実施例に限られるものではなく、歪みの中立面を境にそれぞれ同一の方向に伸長あるいは収縮さえすれば、任意に変形してよい。

また、圧電体の積層枚数も中立面を境に同数である必要はなく、それぞれ複数でさえすればよい。特に、これらの積層数が 3 以上である場合は、すべての積層位置によって圧電体の長手方向の長さを変える必要はなく、一部同じであっても、本発明の効果を得られる。

また、例えば自由端に重りをつければ上記と逆の効果で出力信号が大きな加速度センサや力センサが実現できる。

【0076】

### ＜第三の実施例＞

図3は、本発明の第三の実施例である超音波モータ3の構造および動作を説明する概略図であり、同図(A)は超音波モータ3の正面概略図を、同図(B)は超音波モータ3の積層構造を示す概略図であり、同図(C)は超音波モータ3の動作を説明する概略図である。

#### 【0077】

まず、超音波モータ3の構造について説明する。

図3(B)に示すように、超音波モータ3は、円板状の圧電体31と、圧電体31の上に一体的に積層した円板状の圧電体32と、圧電体32の上に一体的に積層された振動体33と、により概略構成されており、振動体33の上に接するローター34を、軸36を中心として動かす。

すなわち、超音波モータ3は、従来の回転型超音波モータの圧電体に相当する圧電体32の下面に、圧電体32より薄い圧電体31を一体的に積層した構造である。

ここで、圧電体31と圧電体32の厚さの和を、振動体33の厚さに等しくする。このため、圧電体32と振動体33の界面が、本発明における歪みの中立面となる。

#### 【0078】

圧電体31は、例えばチタン酸バリウム、チタン酸ジルコン酸鉛から作製され、中心角 $30^\circ$ であり相互に隣接する2個の扇形の領域31a, 31aと、中心角 $30^\circ$ であり相互に隣接する2個の扇形の領域31b, 31bを、交互に計6組ずつ配置した構造をとる。

ここで、領域31aおよび領域31bは、厚み方向に、互いに逆極性に分極されている。

なお、圧電体31の中心には軸36をはめ込む為の孔を設ける。

#### 【0079】

圧電体32は、圧電体31と同じ圧電材料から、圧電体31と同一径に、かつ、圧電体31より厚く作製され、中心角 $30^\circ$ であり相互に隣接する2個の扇形の領域32a, 32aと、中心角 $30^\circ$ であり相互に隣接する2個の扇形の領域

32b, 32bを、交互に計6組ずつ配置した構造をとる。

ここで、領域32aは領域31aと、また、領域32bは領域31bと、それぞれすべて重なっている。

さらに、領域32aおよび領域32bは、厚み方向に、それぞれ領域31aまたは領域31bとは逆極性に分極される。

なお、圧電体32の中心には軸36をはめ込む為の孔を設ける。

#### 【0080】

また、6個ずつある、領域31aと領域32aの界面と、領域31bと領域32bの界面には、該領域31aと該領域32aとに導通する電極35aまたは電極35bを、交互に、それぞれほぼ全域に設ける。

ここで、6個ある電極35a, 35a・・・はすべて導通しており、また、6個ある電極35b, 35b・・・はすべて導通している。

さらに、圧電体31の下面には電極35cをほぼ全面を覆うように設け、また、圧電体32の上面には電極35dをほぼ全面を覆うように設ける。ここで、電極35cと電極35dとは接地している。

#### 【0081】

振動体33は、圧電体31および圧電体32と同一系の円板状の弾性体であり、中心には軸36を受け入れるための孔を有する。

また、振動体33の、隣接する領域32a, 32aの境目の略中央部に対応する箇所および隣接する領域32b, 32bの境目の略中央部に対応する箇所には、ローター34に当接する突起33aを、計6個設ける。

#### 【0082】

次に、超音波モータ3の動作について説明する。

#### 【0083】

まず、超音波モータ3の電極35a, 35a・・・に、駆動信号としての正弦振動する交流電圧を入力した場合を考える。

#### 【0084】

すなわち、電極35a, 35a・・・がーの電位である時は、6個ずつある領域31aおよび領域32aのうち、電極35aと接している3個の領域31aお



よび3個の領域32aは、+に分極されている面に-の電位を加えられるため、厚さ方向に伸長する。ここで、領域31aは、領域32aと同じ電圧を加えられるにもかかわらず、領域32aより薄いため、領域32aよりも多く伸長して、領域31aの伸長を妨げない。

また、6個ずつある領域31bおよび領域32bのうち、電極35aと接している3個の領域31bおよび3個の領域32bは、-に分極されている面に-の電位を加えられるため、厚さ方向に収縮する。ここで、領域31bは、領域32bと同じ電圧を加えられるにもかかわらず、領域32bより薄いため、領域32bよりも多く収縮して、領域31aの収縮を妨げない。

従って、電極35a、35a・・・の電位が一方向に大きくなる場合は、図3(C)(1)線で示すように、領域32a、32aの間に設けられた突起33aが、領域31aの伸長と領域32aの伸長との相互作用によって、従来の回転型超音波モータよりも大きく同図(C)矢印方向に傾きつつ、従来の回転型超音波モータよりも強くローター34に押しつけられるので、ローター34は従来の回転型超音波モータよりも大きな力で同図(C)矢印方向に動かす。

#### 【0085】

逆に、電極35a、35a・・・が+の電位である時は、6個ずつある領域31aおよび領域32aのうち、電極35aと接している3個の領域31aおよび3個の領域32aは、+に分極されている面に+の電位を加えられるため、厚さ方向に収縮する。ここで、領域31aは、領域32aと同じ電圧を加えられるにもかかわらず、領域32aより薄いため、領域32aよりも多く収縮して、領域31aの収縮を妨げない。

また、6個ずつある領域31bおよび領域32bのうち、電極35aと接している3個の領域31aおよび3個の領域32aは、-に分極されている面に+の電位を加えられるため、厚さ方向に伸長する。ここで、領域31bは、領域32bと同じ電圧を加えられるにもかかわらず、領域32bより薄いため、領域32bよりも多く伸長して、領域31bの伸長を妨げない。

従って、電極35a、35a・・・の電位が+方向に大きくなる場合は、図3(C)(2)線で示すように、領域32b、32bの間に設けられた突起33a

が、領域 31b の伸長と領域 32b の伸長との相互作用によって、従来の回転型超音波モータよりも大きく同図 (C) 矢印方向に傾きつつ、従来の回転型超音波モータよりも強くローター 34 に押しつけられるので、ローター 34 は従来の回転型超音波モータよりも大きな力で同図 (C) 矢印方向に動かす。

【0086】

この結果、超音波モータ 3 は、ローター 34 を、図 3 (C) の矢印に示す方向に、従来の回転型超音波モータよりも大きな力でなめらかに動かす。

【0087】

逆に、超音波モータ 3 の電極 35b, 35b... に、駆動信号としての正弦振動する電圧を入力した場合を考える。

【0088】

電極 35b, 35b... が一の電位である時は、6 個ずつある領域 31a および領域 32a のうち、電極 35b と接している 3 個の領域 31a および 3 個の領域 32a は、+ に分極されている面に一の電位を加えられるため、厚さ方向に伸長する。ここで、領域 31a は、領域 32a と同じ電圧を加えられるにもかかわらず、領域 32a より薄いため、領域 32a よりも多く伸長して、領域 31a の伸長を妨げない。

また、6 個ずつある領域 31b および領域 32b のうち、電極 35b と接している 3 個の領域 31b および 3 個の領域 32b は、- に分極されている面に一の電位を加えられるため、厚さ方向に収縮する。ここで、領域 31b は、領域 32b と同じ電圧を加えられるにもかかわらず、領域 32b より薄いため、領域 32b よりも多く収縮して、領域 31a の収縮を妨げない。

従って、電極 35b, 35b... の電位が一方向に大きくなる場合は、図 3 (D) (1) 線で示すように、領域 32a, 32a の間に設けられた突起 33a が、領域 31a の伸長と領域 32a の伸長との相互作用によって、従来の回転型超音波モータよりも大きく同図 (D) 矢印方向、すなわち同図 (C) とは逆の方向に傾きつつ、従来の回転型超音波モータよりも強くローター 34 に押しつけられるので、ローター 34 は従来の回転型超音波モータよりも大きな力で同図 (D) 矢印方向に動かす。

## 【0089】

逆に、電極 35b, 35b・・・が+の電位である時は、6個ずつある領域 31a および領域 32a のうち、電極 35b と接している 3 個の領域 31a および 3 個の領域 32a は、+に分極されている面に+の電位を加えられるため、厚さ方向に収縮する。ここで、領域 31a は、領域 32a と同じ電圧を加えられるにもかかわらず、領域 32a より薄いため、領域 32a よりも多く収縮して、領域 31a の収縮を妨げない。

また、6個ずつある領域 31b および領域 32b のうち、電極 35b と接している 3 個の領域 31a および 3 個の領域 32a は、-に分極されている面に+の電位を加えられるため、厚さ方向に伸長する。ここで、領域 31b は、領域 32b と同じ電圧を加えられるにもかかわらず、領域 32b より薄いため、領域 32b よりも多く伸長して、領域 31b の伸長を妨げない。

従って、電極 35b, 35b・・・の電位が+方向に大きくなる場合は、図 3 (D) (2) 線で示すように、領域 32b, 32b の間に設けられた突起 33a が、領域 31b の伸長と領域 32b の伸長との相互作用によって、従来の回転型超音波モータよりも大きく同図 (D) 矢印方向に傾きつつ、従来の回転型超音波モータよりも強くローター 34 に押しつけられるので、ローター 34 は従来の回転型超音波モータよりも大きな力で同図 (D) 矢印方向に動かす。

## 【0090】

この結果、超音波モータ 3 は、ローター 34 を、図 3 (D) の矢印に示す方向に、従来の回転型超音波モータよりも大きな力でなめらかに動かす。

## 【0091】

以上より、本発明の実施例である超音波モータ 3 によれば、従来の回転型超音波モータの圧電体に相当する圧電体 32 の下面に、圧電体 32 より薄い圧電体 31 を、圧電体 32 と同一の駆動信号により同一方向に動作をするように積層したので、圧電体 31 は圧電体 32 よりも大きく伸長・収縮して、超音波モータ 3 の出力を増大させる。また、超音波モータの消費電流は圧電素子の容量が大きいほど大きくなるが、歪みの寄与率が小さい部分の圧電素子の厚みを厚く、することで消費電流を低減し効率を向上することができる。

従って、超音波モータ 3 は、従来の回転型超音波モータと同一の動作を、より大きな力で行うため、同一出力においては、従来の回転型超音波モータと比べて小型化できるとともに消費電力を減少できる。

【0092】

さらに、圧電体 31 の厚さと圧電体 32 の厚さの和を、振動体 33 の厚さに等しくして、圧電体 32 と振動体 33 の界面を歪みの中立面としたので、圧電体 31, 32 に生じた伸長・収縮による駆動力は振動体 33 に最も効率よく伝わる。

【0093】

なお、本実施例は、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において任意の変形が可能である。

例えば、圧電体 31, 32 の材料としては、任意の圧電材料を用いることができる。

また、圧電体 31, 32 の厚さの最適比は一義的に決まるものではなく、圧電材料の電気機械結合係数や、各圧電体の積層面の表面積など複数の因子により決まる。

さらに、各圧電体の分極方向や電極の構造は本実施例に限られるものではなく、積層した複数の圧電体が同一方向に伸長あるいは収縮さえすれば、任意に変形してよい。

また、圧電体の積層枚数も 2 枚である必要はなく、複数かつ厚さの和が振動体の厚さに等しければよい。特に、圧電体の積層数が 3 以上である場合は、すべての積層位置によって圧電体の厚さを変える必要はなく、一部同じであっても本発明の効果を得ることができる。

【0094】

#### <第四の実施例>

以下、図 4 および図 5 を用いて、本発明の第四の実施例である、超音波モータ 4 について説明する。

図 4 は、超音波モータ 4 の構成を説明する概略図であり、図 5 は、超音波モータ 4 の動作を説明する概略図である。

【0095】

まず、超音波モータ 4 の構成について、図 4 を用いて説明する。

図 4 (A) に示すように、超音波モータ 4 は、円板状の圧電体 4 1 と、圧電体 4 1 の上に積層した円板状の圧電体 4 2 と、圧電体 4 2 の上に積層した円板状の圧電体 4 3 と、圧電体 4 1 の下に積層した円板状の圧電体 4 4 と、圧電体 4 4 の上に積層した円板状の圧電体 4 5 と、圧電体 4 5 の上に積層した円板状の圧電体 4 6 と、圧電体 4 3 の上に積層した圧電体 4 7 と、圧電体 4 6 の下に積層した圧電体 4 8 と、圧電体 4 3 の上に一体的に積層した振動体 4 9 と、圧電体 4 8 の下に一体的に積層した振動体 4 0 と、により概略構成され、詳細を後述する動作により、非動作時には圧電体 4 7 のわずかに上に位置するロータ 4 a (図 5 に記載) を回転させる。

ここで、圧電体 4 1 ~ 4 8 はすべて一体的に積層されており、半径はすべて等しい。また、圧電体 4 1 ~ 4 6 は、積層方向への伸長・収縮、すなわち縦振動を生じさせるための圧電体であり、圧電体 4 7, 4 8 は円周方向にねじり振動を生じさせるための圧電体である。

#### 【0096】

圧電体 4 1 は、例えばチタン酸バリウム、チタン酸ジルコン酸鉛から作製され、厚み方向に分極されており、また、分極極性は、上面を+とし、下面を-とする。

#### 【0097】

圧電体 4 2, 4 3 は、圧電体 4 1 と同じ材料から作製され、その厚みは、圧電体 4 2 は圧電体 4 1 より厚く、また、圧電体 4 3 は圧電体 4 2 より厚い。

また、圧電体 4 2, 4 3 は、共に厚み方向に分極されている。また、圧電体 4 3 の分極極性は圧電体 4 1 の分極極性と同じであるが、圧電体 4 2 の分極極性は圧電体 4 1 の分極極性とは逆に、上面を-とし、下面を+とする。

#### 【0098】

圧電体 4 4, 4 5, 4 6 は、圧電体 4 1 と同じ材料から作製され、その厚みは、それぞれ、圧電体 4 1, 4 2, 4 3 に等しい。

また、圧電体 4 4, 4 5, 4 6 はそれぞれ、厚み方向に分極されている。また、圧電体 4 4, 4 6 の分極極性は圧電体 4 1 の分極極性と同じであり、圧電体 4

5 の分極極性は圧電体 4 2 の分極極性と同じである。

【0099】

圧電体 4 7, 4 8 は、圧電体 4 1 と同じ材料から作製され、図 4 (B) に示すように、例えば中心角  $90^\circ$  である 4 個の扇形の領域 4 7 a, 4 7 a, 4 7 a, 4 7 a または領域 4 8 a, 4 8 a, 4 8 a, 4 8 a に、それぞれ等分割されている。

領域 4 7 a, 4 8 a の分極方向は円周方向であり、その分極極性は、図 4 (B) の矢印に示すように、上から見て反時計回りに + から - である。

【0100】

また、圧電体 4 1 の上面には、圧電体 4 1 の上面と圧電体 4 2 の下面の双方に同一の電圧を加える電極 4 1 b が、ほぼ全面を覆うように設けられる。

同様に、圧電体 4 2 の上面には、圧電体 4 2 の上面と圧電体 4 3 の下面の双方に同一の電圧を加える電極 4 2 b が、ほぼ全面を覆うように設けられる。

同様に、圧電体 4 3 の上面には、圧電体 4 3 の上面にのみ電圧を加える電極 4 3 b が、ほぼ全面を覆うように設けられる。

また、圧電体 4 1 の下面には、圧電体 4 1 の下面と圧電体 4 4 の上面の双方に同一の電圧を加える電極 4 1 c が、ほぼ全面を覆うように設けられる。

同様に、圧電体 4 4 の下面には、圧電体 4 4 の下面と圧電体 4 5 の上面の双方に同一の電圧を加える電極 4 4 b が、ほぼ全面を覆うように設けられている。

同様に、圧電体 4 5 の下面には、圧電体 4 5 の下面と圧電体 4 6 の上面の双方に同一の電圧を加える電極 4 5 b が、ほぼ全面を覆うように設けられる。

同様に、圧電体 4 6 の下面には、圧電体 4 6 の下面にのみ電圧を加える電極 4 6 b が、ほぼ全面を覆うように設けられる。

さらに、圧電体 4 7 の上面、下面と、圧電体 4 8 の上面、下面には、それぞれ、電極 4 7 b, 電極 4 7 c と、電極 4 8 b, 電極 4 8 c とが、ほぼ全面を覆うように設けられる。

さらに、電極 4 1 b, 4 3 b, 4 4 b, 4 6 b は互いに導通しており、また、電極 4 1 c, 4 2 b, 4 5 b は互いに導通している。

また、電極 4 7 b, 4 8 b は互いに導通しており、電極 4 7 c, 4 8 c も互い

に導通している。

【0101】

次に、超音波モータ4の動作について、図5を用いて説明する。

【0102】

まず、電極41b, 43b, 44b, 46bに、電極41c, 42b, 45bを接地した基準電極として、駆動信号としての交流電圧を加え、さらに、電極47b, 48cに、電極47c, 48bを接地した基準電極として、電極41b, 43b, 44b, 46bに加えられる交流電圧から位相が90°遅れた交流電圧を加えた場合を考える。

【0103】

電極41b, 43b, 44b, 46bの電位が-の時を考える。

【0104】

圧電体41は、+に分極された面は電極41bにより-の電位を加えられ、-に分極された面は電極41cにより接地しているため、厚み方向に伸長する。

同様に、圧電体42, 43, 44, 45, 46は、+に分極された面はそれぞれ電極41b, 43b, 44b, 44b, 46bにより-の電位を加えられ、-に分極された面はそれぞれ電極42b, 42b, 41c, 45b, 45bにより接地しているため、すべて厚み方向に伸長する。

ここで、圧電体の厚みは目的の振動モードの歪みが大きくなる場所ほど薄くなるようにしている。圧電体42, 45は圧電体41, 44より厚いので、圧電体41, 44と同じ電圧を加えられるにもかかわらず、圧電体41, 44より伸長量は少ない。同様に、圧電体43, 46は圧電体42, 45より厚いので、圧電体42, 45と同じ電圧を加えられるにもかかわらず、圧電体42, 45より伸長量は少ない。

【0105】

また、圧電体47, 48は、圧電体42~46から90°遅れて、上面は下面に対して+の電位となるため、+に分極された側面の上方は収縮し、-に分極された側面の上方は伸長する。従って、圧電体47の上面は、圧電体42~46の伸長から90°遅れて反時計周りにねじれる。

【0106】

従って、超音波モータ4は、圧電体41～46に加えられる電圧が一方向に大きくなるにつれて、図5（1）～（2）に示すように、上に伸長すると共に、時計回り方向へのねじれから復帰して、さらに反時計回り方向にねじれるため、ローター4aを圧接するとともに反時計回りに動かす。

ここで、厚さの異なる圧電体41～46を一体的に積層したので、従来よりも多く伸長し、従って、より大きな力でローター4aを反時計回りに動かす。

また、圧電体41～46に加えられる電圧が他の位相の場合は、圧電体41～46は収縮するためにローター4aには当接せず、従って、図5（3）～（4）に示すようにローター4aを動かさない。

そして、図5（1）の状態に戻って、同じ動作を繰り返す。

【0107】

逆に、電極41b, 43b, 44b, 46bの電位が+の時を考える。

【0108】

圧電体41は、+に分極された面は電極41bにより+の電位を加えられ、-に分極された面は電極41cにより接地しているため、厚み方向に収縮する。

同様に、圧電体42, 43, 44, 45, 46は、+に分極された面はそれぞれ電極41b, 43b, 44b, 44b, 46bにより+の電位を加えられ、-に分極された面はそれぞれ電極42b, 42b, 41c, 45b, 45bにより接地しているため、すべて厚み方向に収縮する。

ここで、圧電素子の厚みは目的の振動モードの歪みが大きくなる場所ほど薄くしている。圧電体42, 45は圧電体41, 44より厚いので、圧電体41, 44と同じ電圧を加えられるにもかかわらず、圧電体41, 44より収縮量は少ない。同様に、圧電体43, 46は圧電体42, 45より厚いので、圧電体42, 45と同じ電圧を加えられるにもかかわらず、圧電体42, 45より収縮量は少ない。

【0109】

また、圧電体47, 48は、圧電体42～46から90°遅れて、上面は下面に対して-の電位となるため、+に分極された側面の上方は伸長し、-に分極さ



れた側面の上方は収縮する。従って、圧電体 47 の上面は、圧電体 42～46 の伸長から 90° 遅れて時計周りにねじれる。

【0110】

従って、超音波モータ 4 は、圧電体 41～46 に加えられる電圧が一方向に大きくなるにつれて、図示しないが、上に伸長すると共に、反時計回り方向へのねじれから復帰して、さらに時計回り方向にねじれるため、ローター 4a を圧接するとともに時計回りに動かす。

ここで、厚さの異なる圧電体 41～46 を一体的に積層したので、従来よりも多く伸長し、従って、より大きな力でローター 4a を時計回りに動かす。

また、圧電体 41～46 に加えられる電圧が他の位相の場合は、圧電体 41～46 は収縮するためにローター 4a には当接せず、従って、ローター 4a を動かさない。

【0111】

以上より、本発明の実施例である超音波モータ 4 によれば、縦振動用の圧電体 41～46 を一体的に積層し、さらに、その上下に、圧電体 41～46 とは別個の駆動信号を入力されるねじり振動用の圧電体 47, 48 を一体的に積層したので、駆動信号を調節することにより、圧電体 41～46 が伸長しているときにのみ、すなわち圧電体 47, 48 が一方向にねじれるときにのみ、超音波モータ 4 はローター 4a に圧接する。また、圧電体 41～46 の厚さをそれぞれ歪み分布に応じて変えている。従って、超音波モータ 4 は従来よりも省電力で大きな力でローター 4a を所定方向に回転させる。

また、圧電体 41～46 の厚さと、圧電体 47, 48 の厚さの比を適宜調節することにより、縦振動とねじれ振動の強さの比を最適値に調節できる。

【0112】

なお、本実施例は、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において任意の変形が可能である。

例えば、圧電体 41～48 の材料としては、任意の圧電材料を用いることができる。

また、圧電体 41～46 の厚さの最適比は一義的に決まるものではなく、振動

モードや圧電材料の電気機械結合係数や、圧電体 4 1 ～ 4 6 の積層面の表面積など複数の因子により決まる。

#### 【0113】

さらに、縦振動用の圧電体とねじり振動用の圧電体の積層方法や積層方向も、本実施例に限定されない。

例えば、図 6 (A) に示すように、圧電体 4 7 と同様の分極構造を有するねじり振動用の圧電体 5 1 と圧電体 5 2 とを積層し、さらに、圧電体 5 1, 5 2 の両端面に圧電体 4 1 と同様の分極構造を有する縦振動用の圧電体 5 3 と圧電体 5 4 とを積層した超音波モータ 5 においても、同様の効果を得る。ここで縦振動もねじり振動も例えば 1 次の振動モードの場合、中央部から両端に遠ざかるに従い歪みも小さくなる。そこで中央には位置されたねじり振動用の圧電体よりも外側に配置された縦振動用の圧電体の厚みを薄くすることで両方の振動のバランスは保たれる。

さらに、図 6 (B) に示すように、圧電体 4 1 と同様の分極構造を有する縦振動用の圧電体 6 1 の上に、圧電体 6 1 より厚い縦振動用の圧電体 6 2 と、圧電体 6 2 より厚い縦振動用の圧電体 6 3 と、を積層し、さらに圧電体 6 1 の下に、圧電体 4 7 と同様の分極構造を有するねじれ振動用の圧電体 6 4 と、圧電体 6 4 より厚いねじれ振動用の圧電体 6 5 と、圧電体 6 5 より厚いねじれ振動用の圧電体 6 6 と、を積層した超音波モータ 6 においても、同様の効果を得る。

また、ここでは縦、ねじりとも 1 次モードを使用した但那の限りではなく、高次モードを使用しても良いし、両方の振動モードの次数を合わせる必要も無い。ただその場合にも歪み分布に応じて圧電素子の厚みを変えさえすれば上記と同様の効果が得られる。

#### 【0114】

#### <第五の実施例>

以下、図 7 および図 8 を用いて、本発明の第五の実施例である、超音波モータ 7 について説明する。

図 7 は、本発明の第五の実施例である、超音波モータ 7 の構成を説明する概略図であり、図 8 は超音波モータ 7 の動作を説明する概略図である。

【0115】

まず、超音波モータ 7 の構成について説明する。

超音波モータ 7 は、図 7 (A) に示すように、円板状の圧電体 7 1 と、圧電体 7 1 の上に積層した円板状の圧電体 7 2 と、圧電体 7 2 の上に積層した円板状の圧電体 7 3 と、圧電体 7 1 の下に積層した円板状の圧電体 7 4 と、圧電体 7 4 の下に積層した円板状の圧電体 7 5 と、圧電体 7 5 の下に積層した円板状の圧電体 7 6 と、圧電体 7 3 の下に一体的に積層した振動体 7 7 と、圧電体 7 6 の下に一体的に積層した振動体 7 8 と、により概略構成され、詳細を後述する動作により、振動体 7 8 のわずかに上に位置するローター 7 9 を回転させる。

ここで、圧電体 7 1 ~ 7 6 はすべて一体的に積層されており、半径はすべて等しい。また、本発明における歪みの中立面は、圧電体 7 1 と圧電体 7 4 との界面である。

【0116】

圧電体 7 1 は、例えばチタン酸バリウム、チタン酸ジルコン酸鉛より作製される。また、圧電体 7 1 は、図 7 (C) の平面図に示すように、2つの半円に分割されており、それぞれ逆極性に、厚み方向に分極されている。

【0117】

圧電体 7 2 は、圧電体 7 1 と同じ材料から、圧電体 7 1 より厚く作製される。また、圧電体 7 2 は圧電体 7 1 と同方向に2つの半円に分割されており、それぞれ圧電体 7 1 とは逆極性に分極されている。

また、圧電体 7 3 は、圧電体 7 1 と同じ材料から、圧電体 7 2 より厚く作製される。また、圧電体 7 2 は圧電体 7 1 と同方向に2つの半円に分割されており、それぞれ圧電体 7 1 と同極性に分極されている。

【0118】

圧電体 7 4 は、圧電体 7 1 と同じ材料から、圧電体 7 1 と同じ厚さに作製される。また、圧電体 7 4 は、図 7 (D) の平面図に示すように、2つの半円に分割されており、それぞれ逆方向に、厚み方向に分極されている。また、圧電体 7 4 の分割方向は、圧電体 7 1 の分割方向と直角に交わる方向である。

【0119】

圧電体 75 は、圧電体 71 と同じ材料から、圧電体 72 と同じ厚さに作製される。また、圧電体 75 は圧電体 74 と同方向に 2 つの半円に分割されており、それぞれ圧電体 74 とは逆極性に分極されている。

また、圧電体 76 は、圧電体 71 と同じ材料から、圧電体 73 と同じ厚さに作製される。また、圧電体 76 は圧電体 74 と同方向に 2 つの半円に分割されており、それぞれ圧電体 74 と同極性に分極されている。

【0120】

また、圧電体 71 の上面には、圧電体 71 の上面と圧電体 72 の下面の双方に同一の電圧を加える電極 71 a を、ほぼ全面を覆うように設ける。

同様に、圧電体 72 の上面には、圧電体 72 の上面と圧電体 73 の下面の双方に同一の電圧を加える電極 72 a を、ほぼ全面を覆うように設ける。

また、圧電体 73 の上面には、圧電体 73 の上面に電圧を加える電極 71 a を、ほぼ全面を覆うように設ける。

さらに、圧電体 71 の下面には、圧電体 71 の下面に電圧を加える電極 71 b を、ほぼ全面を覆うように設ける。

【0121】

また、圧電体 74 の上面には、圧電体 74 の上面に電圧を加える電極 74 a を、ほぼ全面を覆うように設ける。

さらに、圧電体 74 の下面には、圧電体 74 の下面と圧電体 75 の上面の双方に同一の電圧を加える電極 74 a を、ほぼ全面を覆うように設ける。

同様に、圧電体 75 の下面には、圧電体 75 の下面と圧電体 76 の上面の双方に同一の電圧を加える電極 75 a を、ほぼ全面を覆うように設ける。

さらに、圧電体 76 の下面には、圧電体 76 の下面に電圧を加える電極 76 a を、ほぼ全面を覆うように設ける。

なお、電極 71 a, 73 a は互いに導通しており、電極 71 b, 72 a も互いに導通している。

同様に、電極 74 a, 75 a は互いに導通しており、電極 74 b, 76 a も互いに導通している。

これら信号印加用の電極としてはフレキシブル基板や金属板等何ら制限はない

また、圧電体、電極、振動体の接合としては接着あるいは中心に穴を空けボルトとナット等で締め付け固定する構造等が挙げられる。

【0122】

次に、超音波モータ7の動作について説明する。

【0123】

まず、電極71a, 73aに、電極71b, 72aを基準電極として、駆動信号としての交流電圧を加え、さらに、電極74a, 75aに、電極74b, 76aを基準として、電極71a, 73aに加えられる交流電圧から位相を90°進ませた交流電圧を加えた場合を考える。

【0124】

電極71a, 73aへ加えられる電圧が-に大きくなる時は、圧電体71, 72, 73の図7(C)における左側半分は、+に分極されている面に電極71a, 73aにより-の電圧を加えられるため、厚み方向に伸長し、また、右側半分は、-に分極されている面に-の電圧を加えられるため、厚み方向に収縮する。

また、電極74a, 75aに加えられる電圧は-から0に近づくため、圧電体74, 75, 76の歪みは小さくなる。

従って、超音波モータ7は、図7(B)および図8(B)に示すように、全体として左側が伸長して右側が収縮するとともに、手前側及び奥側の歪みは減少するため、ロータ79を図8(B)の矢印に示す方向に回転させる。

ここで、圧電体71, 72, 73は、この順番に厚いので、目的の振動モードにおける歪みが大きい部分にある圧電素子ほど、それが発生する歪みが大きくなるので他の圧電体の伸長・収縮を妨げずに、超音波モータ7の歪み量、すなわち駆動力を増大させるとともに駆動への寄与率が小さい部分の圧電素子の厚みが厚い為、容量を小さくでき消費電流も小さくできる。

【0125】

また、電極71a, 73aへ加えられる電圧が-から0に近づく時は、圧電体71, 72, 73の歪みは小さくなる。

この時、電極74a, 75aに加えられる電圧は+に大きくなる。従って、圧

電体 74, 75, 76 の図 7 (D) における上半分は、+ に分極されている面に電極 74 a, 75 a により + の電圧を加えられるため、厚み方向に収縮し、また、下半分は、- に分極されている面に + の電圧を加えられるため、厚み方向に伸長する。

このため、超音波モータ 7 は、図 8 (C) に示すように、全体として手前側が伸長して奥側が収縮するとともに、右側及び左側の歪みは減少するため、ロータ 79 を図 8 (B) の矢印に示す方向に回転させる。

ここで、圧電体 74, 75, 76 は、この順番に厚いので、目的の振動モードにおける歪みが大きい部分にある圧電素子ほど、それが発生する歪みが大きくなるので他の圧電体の伸長・収縮を妨げずに、超音波モータ 7 の歪み量、すなわち駆動力を増大させるとともに駆動への寄与率が小さい部分の圧電素子の厚みが厚い為、容量を小さくでき消費電流も小さくできる。

【0126】

また、電極 71 a, 73 a へ加えられる電圧が + に大きくなる時は、圧電体 71, 72, 73 の図 7 (C) における左側半分は、+ に分極されている面に電極 71 a, 73 a により + の電圧を加えられるため、厚み方向に収縮し、また、右側半分は、- に分極されている面に + の電圧を加えられるため、厚み方向に伸長する。

また、電極 74 a, 75 a に加えられる電圧は + から 0 に近づくため、圧電体 74, 75, 76 の歪みは小さくなる。

従って、超音波モータ 7 は、図 8 (D) に示すように、全体として左側が収縮して右側が伸長するとともに、手前側及び奥側の歪みは減少するため、ロータ 79 を図 8 (B) の矢印に示す方向に回転させる。

ここで、圧電体 71, 72, 73 は、この順番に厚いので、目的の振動モードにおける歪みが大きい部分にある圧電素子ほど、それが発生する歪みが大きくなるので他の圧電体の伸長・収縮を妨げずに、超音波モータ 7 の歪み量、すなわち駆動力を増大させるとともに駆動への寄与率が小さい部分の圧電素子の厚みが厚い為、容量を小さくでき消費電流も小さくできる。

【0127】

さらに、電極 71a, 73a へ加えられる電圧が+から0に近づく時は、圧電体 71, 72, 73 の歪みは小さくなる。

この時、電極 74a, 75a に加えられる電圧は-に大きくなる。従って、圧電体 74, 75, 76 の図 7 (D) における上半分は、+に分極されている面に電極 74a, 75a により-の電圧を加えられるため、厚み方向に伸長し、また、下半分は、-に分極されている面に-の電圧を加えられるため、厚み方向に収縮する。

このため、超音波モータ 7 は、図 8 (A) に示すように、全体として手前側が収縮して奥側が伸長するとともに、右側及び左側の歪みは減少するため、ロータ 79 を図 8 (B) の矢印に示す方向に回転させる。

ここで、圧電体 74, 75, 76 は、この順番に厚いので、目的の振動モードにおける歪みが大きい部分にある圧電素子ほど、それが発生する歪みが大きくなるので他の圧電体の伸長・収縮を妨げずに、超音波モータ 7 の歪み量、すなわち駆動力を増大させるとともに駆動への寄与率が小さい部分の圧電素子の厚みが厚い為、容量を小さくでき消費電流も小さくできる。

#### 【0128】

すなわち、超音波モータ 7 は、図 8 に示すように、左側、手前側、右側、奥側の順に伸長するので、ロータ 79 を時計回りに回転させる。

#### 【0129】

逆に、さらに、電極 74a, 75a に、電極 74b, 76a を基準として、電極 71a, 73a に加えられる交流電圧から位相を  $90^\circ$  遅らせた交流電圧を加えた場合は、図 8 とは逆に、左側、奥側、右側、手前側の順に伸長するので、ロータ 79 を反時計回りに回転させる。

ここで、圧電体 71, 72, 73 および圧電体 74, 75, 76 は、この順番に厚いので、目的の振動モードにおける歪みが大きい部分にある圧電素子ほど、それが発生する歪みが大きくなるので他の圧電体の伸長・収縮を妨げずに、超音波モータ 7 の歪み量、すなわち駆動力を増大させるとともに駆動への寄与率が小さい部分の圧電素子の厚みが厚い為、容量を小さくでき消費電流も小さくでき、効率が向上する。

【0130】

以上より、本発明の実施例である超音波モータ7によれば、駆動力源としての圧電体71の上に圧電体71より厚い圧電体72と、圧電体72より厚い73を一体的に積層し、かつ、圧電体71の下に圧電体71と同じ厚さの圧電体74と、圧電体72と同じ厚さの圧電体75と、圧電体73と同じ厚さの圧電体76と、を一体的に積層したので、圧電体71～76は、他の圧電体の伸長・収縮を妨げることなく超音波モータ7の歪み量を増大させる。従って超音波モータ7の駆動力は増大するとともに駆動への寄与率が小さい部分の圧電素子の厚みが厚い為、容量を小さくでき消費電流も小さくできる。

【00131】

なお、本実施例は、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において任意の変形が可能である。

例えば、圧電体71～76の材料としては、任意の圧電材料を用いることができる。

また、圧電体71～76の厚さの最適比は一義的に決まるものではなく、圧電材料の電気機械結合係数や、圧電体71～76の積層面の表面積など複数の因子により決まる。

さらに、圧電体71～76の積層方法や積層方向も、本実施例に限定されず、例えば圧電体71～73の分極構造を圧電体71の分極構造に統一し、かつ、圧電体74～76の分極構造を圧電体74の分極構造に統一しても同様の効果を得る。電極構造についても何ら制限はなく、例えば積層にした圧電体を一体的に焼結する構造の場合、入力する信号に対して目的の振動を励振するように分極時に用いた各層の電極を例えば圧電素子の内周や外周で短絡したり、スルーホールによって短絡することが可能である。

また、ここでは曲げの1次モードを使用した但那の限りではなく、高次モードを使用しても良い。ただその場合にも歪み分布に応じて圧電素子の厚みを変えさえすれば上記と同様の効果が得られる。

【00132】

<第五の実施の形態の変形例>



図9は、超音波モータ7の変形例である、超音波モータ7aの構成を説明する概略図である。

超音波モータ7aは、一体的に積層した圧電体72、72の下に、圧電体74、74を一体的に積層し、さらにその下に、自励発振あるいは他励駆動制御に用いる信号を検出する圧電体79を一体的に積層した構造をとる。

【0133】

圧電体79は、例えばチタン酸バリウム、チタン酸ジルコン酸鉛から、圧電体72および圧電体74より薄く作製され、上面を+に、下面を-に、厚み方向に分極処理されている。

また、圧電体79には、超音波モータ7aの歪み状態を電気信号として検出する電極を、例えば90°ごとに計4つ設ける。

【0134】

上述した構成を有する超音波モータ7aにおいて、圧電体79は圧電体72に比べ、歪みの小さい部分に設けられているが、圧電体72、74より薄いので、圧電体72、74に発生した駆動力源としての歪みを妨げることなく、より高い検出力を発揮する。

また、圧電体72、74に振動検出用の電極を設ける必要はなくなり、圧電体72、74の全体を駆動力源として用いるので、従来より大きな駆動力を得る。

特に、超音波モータ7aを高出力の超音波モータとする場合は、超音波モータ7aの強度を確保するために、圧電体72、74を厚くしなければならないが、圧電体72、74とは別個の振動検出用の圧電体79を設けたため、超音波モータ7aの振動検出能力は低下しない。

【0135】

なお、本発明は本実施例に限られるものではなく、任意の方式の超音波モータを含む圧電アクチュエータにおいて、駆動用の圧電体より薄い振動検出用の圧電体を、駆動用の圧電体と別個に設けることにより、同様の効果を得られる。

【0136】

<第六の実施例>

以下、図10および図11を用いて、本発明の第六の実施例である超音波モ-

タ 8 について、詳細に説明する。

図 10 は、超音波モータ 8 の構成を説明する概略図であり、図 11 は超音波モータ 8 の動作を説明する概略図である。

【0137】

まず、超音波モータ 8 の構成について説明する。

超音波モータ 8 は、一体的に積層した 4 枚の直方体の圧電体 81, 81, 81, 81 と、圧電体 81, 81, 81, 81 の上に一体的に積層した 3 枚の直方体の圧電体 82, 圧電体 83, 圧電体 84 と、圧電体 81, 81, 81, 81 の下に一体的に積層した 3 枚の直方体の圧電体 85, 圧電体 86, 圧電体 87 と、により概略構成される。

ここで、圧電体 81, 81, 81, 81 は縦振動を生じる圧電体であり、圧電体 82～87 は曲げ振動を生じる圧電体である。すなわち、超音波モータ 8 は、縦振動と曲げ振動の合成により、端面及び側面に生じる楕円振動により移動体を動かす超音波モータである。

なお、圧電体 81～87 の表面形状はすべて同じである。

さらに、本発明における歪みの中立面は、上から 2 枚目の圧電体 81 の下面となる。

【0138】

圧電体 81 は、例えばチタン酸バリウム、チタン酸ジルコン酸鉛から作製され、図 10 (C) の平面図に示すように、厚み方向に、例えば上面が+となるように分極する。

また、圧電体 81 の上面には電極 81 a を、下面には電極 81 b を、それぞれ設ける。

【0139】

圧電体 82 は、圧電体 81 と同じ材料から作製される。また、圧電体 82 は、図 8 (B) の平面図に示すように、2 つの長方形の分極領域を有しており、それぞれ逆極性に、例えば同図左側を上面が+に、右側を上面が-となるように、厚み方向に分極する。また、前記 2 つの分極領域の上面には電極 82 a, 電極 82 a を、下面には一つの連続した電極 82 b を、それぞれ設ける。

【0140】

圧電体 83 は、圧電体 81 と同じ材料から、圧電体 82 より薄く作製される。

さらに、圧電体 84 は、圧電体 81 と同じ材料から、圧電体 83 より薄く作製される。

また、圧電体 83, 84 の分極構造は圧電体 82 の分極構造と同じである。さらに、圧電体 83 と同様に、それぞれの分極領域の上面には電極 83a, 83a、電極 84a, 84a を、下面には一つの連続した電極 83b、電極 84b を設ける。

【0141】

圧電体 85 は、圧電体 81 と同じ材料から、圧電体 82 と同じ厚さに作製される。また、圧電体 85 は、図 8 (D) の平面図に示すように、圧電体 82 と同形状の 2 つの長方形の分極領域を有しており、それぞれ厚み方向に、圧電体 82 の分極極性とは逆極性に、例えば同図左側を上面が－に、右側を上面が＋となるように、厚み方向に分極する。また、前記 2 つの分極領域の上面には電極 85a, 電極 85a を、下面には一つの連続した電極 82b を、それぞれ設ける。

【0142】

圧電体 86 は、圧電体 81 と同じ材料から、圧電体 83 と同じ厚さに作製される。

さらに、圧電体 87 は、圧電体 81 と同じ材料から、圧電体 84 と同じ厚さに作製される。

また、圧電体 86, 87 の分極構造は圧電体 85 の分極構造と同じであり、さらに、圧電体 85 と同様に、それぞれの分極領域の上面には電極 86a, 86a、電極 87a, 87a を、下面には一つの連続した電極 83b、電極 84b を設ける。

【0143】

また、電極 82a, 83a, 84a, 85a, 86a, 87a はすべて相互に導通している。さらに、電極 81b, 82b, 83b, 84b, 85b, 86b, 87b はすべて接地している。

【0144】

次に、超音波モータ 8 の動作について説明する。

【0145】

まず、電極 81 a のすべてに電極 81 b を基準電極として駆動信号としての交流電圧を加え、さらに、電極 82 a ～ 87 a に、電極 82 b ～ 87 b を基準電極として、電極 81 a に加えた交流電圧から位相が  $90^\circ$  進んだ交流電圧を加えた場合を考える。

【0146】

電極 81 a に加えられる電圧が－に大きくなる時は、圧電体 81 は、＋に分極されている面には－の電圧が加えられるため、図 11 (A) の断面図に示すように、長手方向に伸長する。従って、超音波モータ 8 の端面は移動体（図示省略）に当接する。

【0147】

このとき、電極 82 a ～ 87 a に加えられる電圧は＋に大きくなるため、圧電体 82 ～ 87 の上面には＋の電圧が加えられる。従って、圧電体 82 ～ 84 の左側半分は収縮して、右側半分は伸長するとともに、圧電体 85 ～ 87 の左側半分は伸長して、右側半分は収縮する。

このため、超音波モータ 8 には、図 11 (B) の断面図に示すように歪む。

【0148】

ここで、圧電体 82 ～ 84 は、それぞれ、歪みの中立面から遠方になるにつれて薄くなるため、他の圧電体の伸長・収縮を妨げることなく、超音波モータ 8 の歪み量を増大させる。

同様に、圧電体 85 ～ 87 は、それぞれ、歪みの中立面から遠方になるにつれて薄くなるため、他の圧電体の伸長・収縮を妨げることなく、超音波モータ 8 の曲げ振動量を増大させる。

【0149】

この結果、超音波モータ 8 は、超音波モータ 8 の端面に接する前記移動体を図 11 (C) の矢印に示す方向に動かす。

【0150】

また、電極 81 a に加えられる電圧が＋に大きくなる時は、圧電体 81 は、＋

に分極されている面に＋の電圧を加えられるため、長手方向に収縮する。従って、超音波モータ 8 の端面は移動体（図示省略）に当接しないため、前記移動体に駆動力を伝達しない。

## 【0151】

次に、電極 81a のすべてに電極 81b を基準電極として駆動信号としての交流電圧を加え、さらに、電極 82a～87a に、電極 82b～87b を基準電極として、電極 81a に加えた交流電圧と同位相の交流電圧を加えた場合を考える。

## 【0152】

電極 81a に加えられる電圧が－に大きくなる時は、圧電体 81 は、＋に分極されている面に－の電圧を加えられるため、図 11（A）の断面図に示すように、長手方向に伸長する。従って、超音波モータ 8 の端面は移動体（図示省略）に当接する。

## 【0153】

このとき、電極 82a～87a に加えられる電圧は－に大きくなるため、圧電体 82～87 の上面には－の電圧が加えられる。従って、圧電体 82～84 の左側半分は伸長して、右側半分は収縮するとともに、圧電体 85～87 の左側半分は収縮して、右側半分は伸長する。

このため、超音波モータ 8 には、図 11（B）の断面図とは逆に歪む。

## 【0154】

ここで、圧電体 82～84 は、それぞれ、歪みの中立面から遠方になるにつれて薄くなるため、他の圧電体の伸長・収縮を妨げることなく、超音波モータ 8 の歪み量を増大させる。

同様に、圧電体 85～87 は、それぞれ、歪みの中立面から遠方になるにつれて薄くなるため、他の圧電体の伸長・収縮を妨げることなく、超音波モータ 8 の曲げ振動量を増大させる。

## 【0155】

この結果、超音波モータ 8 は、超音波モータ 8 の端面に接する前記移動体を図 11（C）の矢印とは逆の方向に動かす。

【0156】

また、電極 81a に加えられる電圧が+に大きくなる時は、圧電体 81 は、+に分極されている面に+の電圧を加えられるため、長手方向に収縮する。従って、超音波モータ 8 の端面は移動体（図示省略）に当接しないため、前記移動体に駆動力を伝達しない。

【0157】

以上より、本発明の実施例である超音波モータ 8 によれば、縦振動源としての 4 枚の圧電体 81, 81, 81, 81 の上下にそれぞれ積層した曲げ振動用の圧電体 82, 83, 84 及び圧電体 85, 86, 87 を、歪みの中立面から遠方になるにつれて薄くなるように積層したので、圧電体 82～86 は、他の圧電体の伸長・収縮を妨げることなく、超音波モータ 8 の曲げ振動量を増大させる。従って超音波モータ 8 の駆動力は増大するとともに消費電力も低下し高率も向上する。

【0158】

なお、本実施例は、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において任意の変形が可能である。

例えば、圧電体 81～87 の材料としては、任意の圧電材料を用いることができる。

また、圧電体 82～87 の厚さの最適比は一義的に決まるものではなく、圧電材料の電気機械結合係数や、圧電体 82～87 の積層面の表面積など複数の因子により決まる。

さらに、圧電体 82～87 の分極構造は本実施例に限定されず、曲げ振動を生じる任意の分極構造を用いることができる。例えば絶縁相を介さずに、電極 B、C、D の間に電極 E を共通電極として設けても良い。また印可する電気信号の位相は 90 度に限ったものではなく同じでも構わない。

また、圧電体 81～87 の積層構造や積層枚数も本実施例に限定されるものではなく、歪みの中立面から遠方になるにつれて圧電体を薄くすればよい。

【0159】

<第七の実施の形態例>

図 12 は、本発明における圧電アクチュエータを電子機器に適用した圧電アクチュエータ付電子機器 9 の構成を示すブロック図である。

圧電アクチュエータ付電子機器 9 は、所定の分極処理を施した圧電体を有する圧電アクチュエータ 91 と、圧電アクチュエータ 91 により動かされる移動体 92 と、圧電アクチュエータ 91 と移動体 92 とを加圧する加圧機構 93 と、移動体 92 と連動して動く伝達機構 94 と、伝達機構 94 の動作に基づいて運動する出力機構 95 と、を備えることにより実現する。なお、加圧機構 93 としは例えばバネを用いる。

ここで、圧電アクチュエータ付電子機器 9 としては、例えば、電子時計、計測器、カメラ、プリンタ、印刷機、工作機械、ロボット、移動装置、記憶装置などがある。

また、圧電アクチュエータ 91 としては、例えば圧電アクチュエータ 1, 2 や、超音波モータ 3, 4, 5, 6, 7, 7a, 8 を用いる。また、伝達機構 94 としては、例えば歯車、摩擦車等の伝達車を用いる。出力機構 95 には、例えば、カメラにおいてはシャッタ駆動機構やレンズ駆動機構などを、電子時計においては指針駆動機構やカレンダー駆動機構を、記憶装置に用いる場合は、該情報記憶装置内の記憶媒体に情報を読み書きするヘッドを駆動するヘッド駆動機構を、工作機械においては刃具送り機構や加工部材送り機構などを用いる。

#### 【0160】

この圧電アクチュエータ付電子機器 9 は、従来の圧電アクチュエータと比べて出力の大きい本発明における圧電アクチュエータを用いるので、圧電アクチュエータは小型化、省電力化が可能である。従って、従来の圧電アクチュエータ付電子機器と比べて小型化する。

なお、移動体 92 に出力軸を取り付け、出力軸からトルクを伝達するための動力伝達機構を有する構成にすれば、超音波モータ単体で駆動機構が構成される。

#### 【0161】

#### 【発明の効果】

請求項 1 記載の発明によれば、圧電体の厚さを該圧電体の動作及び位置に応じて適宜調節することにより、各圧電体は、他の圧電体の動作を妨げることなくす

べて圧電アクチュエーターの動作に寄与する。従って、同一消費電力においては従来より出力は大きく、かつ、同一出力においては従来と比べて小型化するとともに消費電力を減少した、圧電アクチュエータを作製できる。

【0162】

また、請求項2記載の発明によれば、前記複数の圧電体の各々の厚さは、該圧電体より前記圧電素子の歪みの中立面側にある他の圧電体の厚さより薄いので、各圧電体は、他の圧電体の動作を妨げることなくすべて圧電アクチュエーターの動作に寄与する。従って、同一消費電力においては従来より出力は大きく、かつ、同一出力においては従来と比べて小型化するとともに消費電力を減少した、圧電アクチュエータを作製できる。

【0163】

また、請求項3記載の発明によれば、前記複数の圧電体の少なくとも一部は同一の振動を生じるので、該振動は従来よりも大きくなり、従って、同一消費電力においては従来より出力は大きく、かつ、同一出力においては従来と比べて小型化するとともに消費電力を減少した、圧電アクチュエータを作製できる。

【0164】

また、請求項4記載の発明によれば、請求項2または請求項3記載の発明と同様の効果を得る。

また、請求項5記載の発明によれば、請求項2または請求項3記載の発明と同様の効果を得る。

【0165】

また、請求項6記載の発明によれば、請求項1～請求項3に記載の発明と同様の作用を得るほか、前記複数の圧電体の厚さを調節することにより、前記二種類の異なる振動の大きさを最適な比に調節できる。

【0166】

また、請求項7記載の発明によれば、前記振動検出用の圧電体は、駆動力源として用いられる圧電体の歪みを妨げず、また、より高い検出力を発揮する。従って、圧電アクチュエータの制御精度は向上する。

【0167】



また、請求項 8 記載の発明によれば、前記複数の圧電体に生じた駆動力は最も効率よく前記振動体に伝わるので、同一消費電力においては従来より出力は大きく、かつ、同一出力においては従来と比べて小型化するとともに消費電力を減少した、超音波モータを作製できる。

【0168】

また、請求項 11 記載の発明によれば、従来の超音波モータと比べて出力の大きい請求項 1～請求項 8 のいずれかに記載の超音波モータを用いるので、超音波モータの大きさを小型化できるので、超音波モータ付電子機器を小型化できる。更には請求項 9～10 記載の発明によれば従来より小型で出力信号が大きく感度の高い圧電センサを実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第一の実施例である、圧電アクチュエータ 1 の構成を示す断面図である。

【図 2】

本発明の第二の実施例である、圧電アクチュエータ 2 の構成を示す断面図である。

【図 3】

本発明の第三の実施例である、超音波モータ 3 の構成および動作を説明する概略図である。

【図 4】

本発明の第四の実施例である、超音波モータ 4 の構成を説明する概略図である。

【図 5】

超音波モータ 5 の動作を説明する概略図である。

【図 6】

超音波モータ 4 の変形例である、超音波モータ 5 および超音波モータ 6 の構成を説明する概略図である。

【図 7】

本発明の第五の実施例である、超音波モータ7の構成を説明する概略図である。

【図8】

超音波モータ7の動作を説明する概略図である。

【図9】

超音波モータ7の変形例である、超音波モータ7aの構成を説明する概略図である。

【図10】

本発明の第六の実施例である、超音波モータ8の構成を説明する概略図である。

【図11】

超音波モータ8の動作を説明する概略図である。

【図12】

本発明の第七の実施例である、圧電アクチュエータ付電子機器9の構成を示すブロック図である。

【図13】

圧電アクチュエータの従来例である圧電アクチュエータ100の構成及び動作を説明する概略図である。

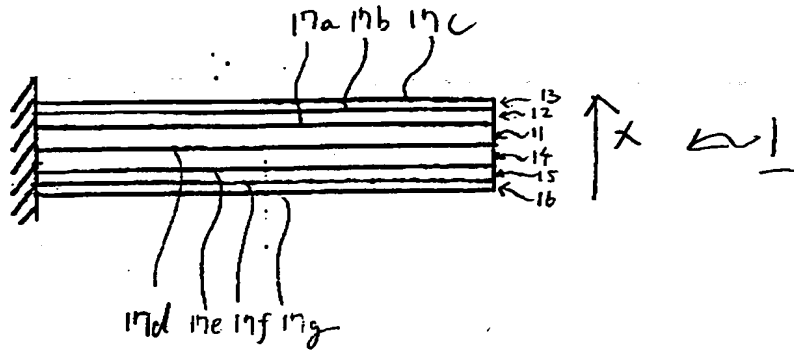
【符号の説明】

|                        |                |
|------------------------|----------------|
| 1, 2                   | 圧電アクチュエータ      |
| 3, 4, 5, 6, 7, 7a, 8   | 超音波モータ         |
| 9                      | 圧電アクチュエータ付電子機器 |
| 11, 12, 13, 14, 15, 16 | 圧電体            |
| 21a~21f                | 圧電体            |
| 22a~22l                | 圧電体            |
| 23a~23f                | 圧電体            |
| 24a~24l                | 圧電体            |
| 31, 32                 | 圧電体            |
| 33                     | 振動体            |

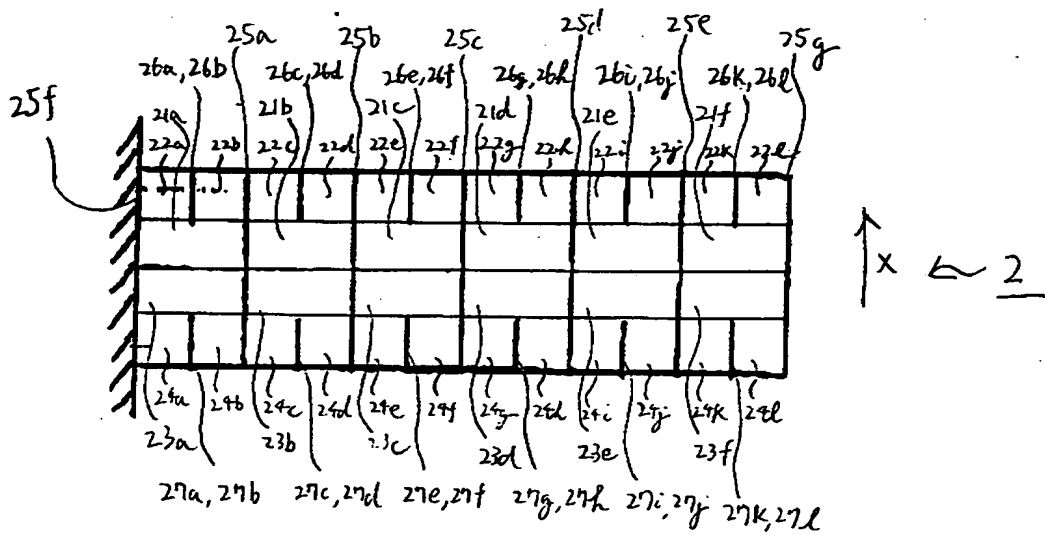
|                                |                 |
|--------------------------------|-----------------|
| 34                             | ローター            |
| 36                             | 軸               |
| 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48 | 圧電体             |
| 40, 49                         | 振動体             |
| 51, 52, 53, 54                 | 圧電体             |
| 61, 62, 63, 64, 65, 66         | 圧電体             |
| 71, 72, 73, 74, 75, 76         | 圧電体             |
| 77, 78                         | 振動体             |
| 79                             | 圧電体 (振動検出用の圧電体) |
| 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87     | 圧電体             |
| 91                             | 圧電アクチュエータ       |
| 92                             | 移動体             |
| 93                             | 加圧機構            |
| 94                             | 伝達機構            |
| 95                             | 出力機構            |
| 100                            | 圧電アクチュエータ       |
| 110                            | 圧電アクチュエータ       |

【書類名】 図面

【図 1】

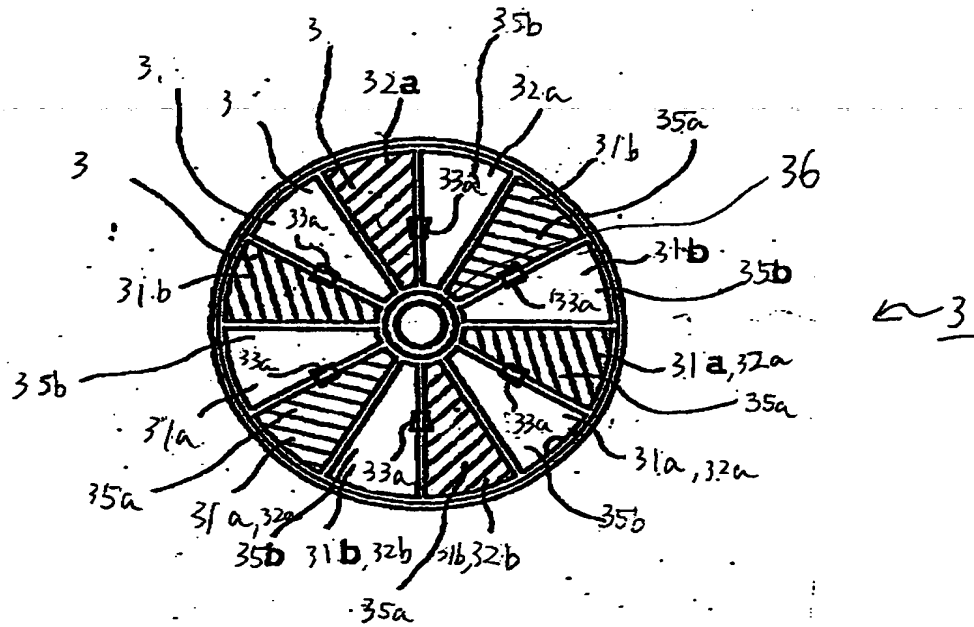


【図 2】

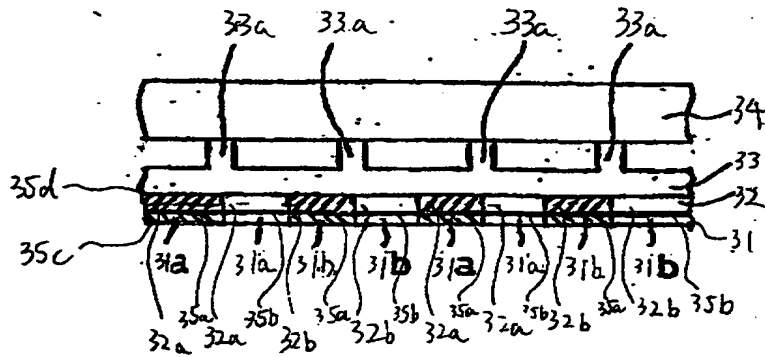


【図3】

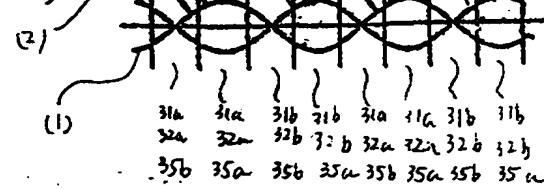
(A)



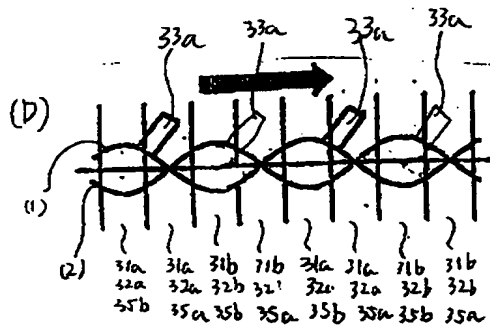
(B)



(C)

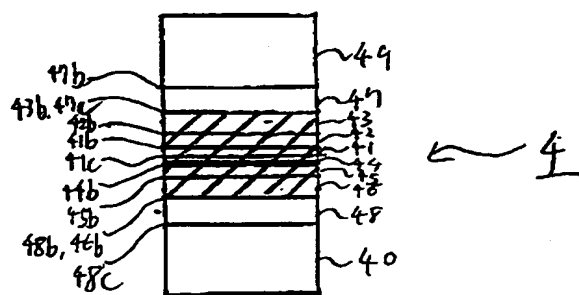


(D)

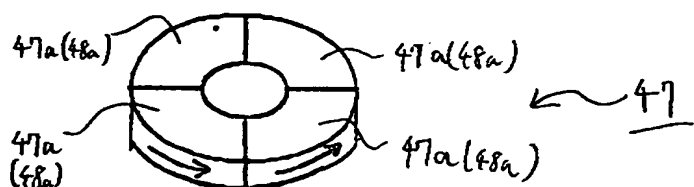


【図 4】

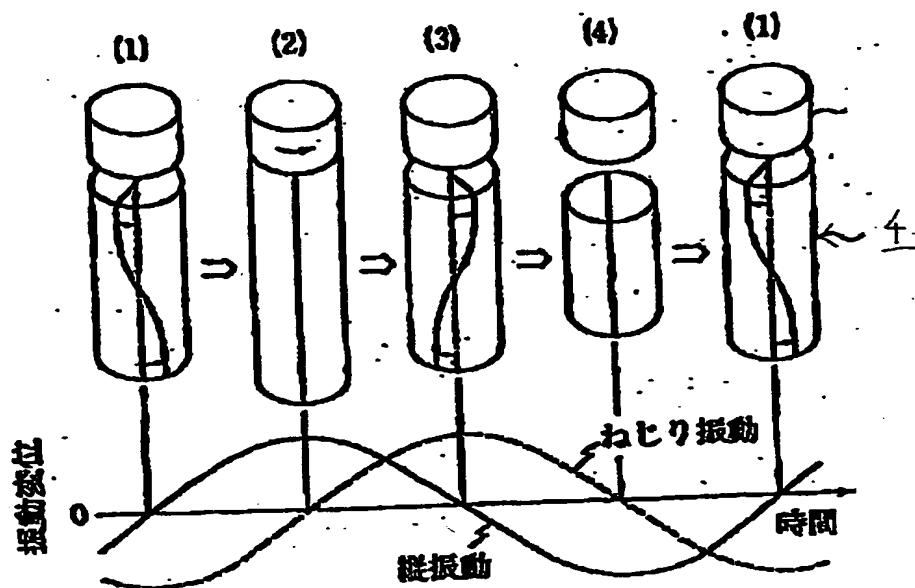
(A)



(B)

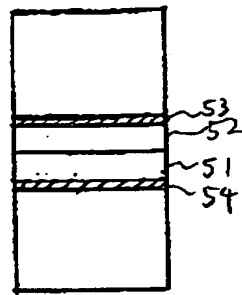


【図5】



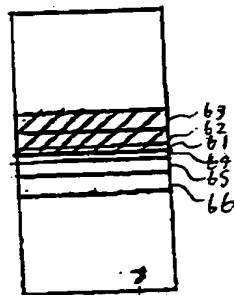
【図 6】

(A)



← 5

(B)



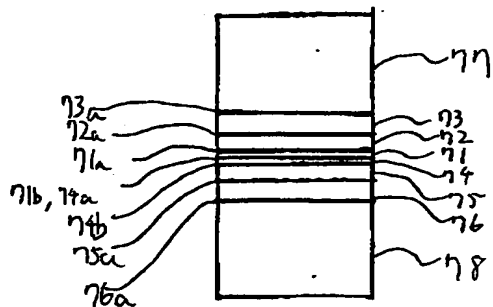
← 6



特平 1 0 - 2 6 5 3 7 2

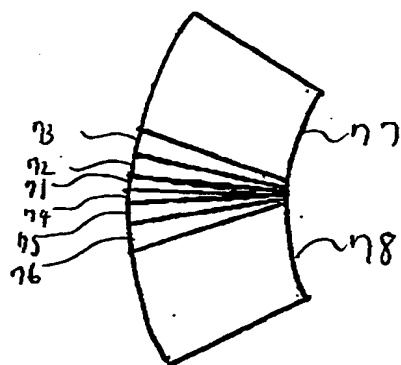
【図 7】

(A)



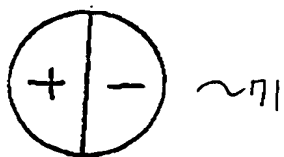
~7

(B)

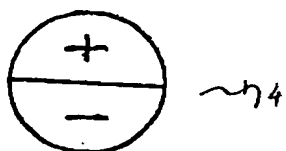


~7

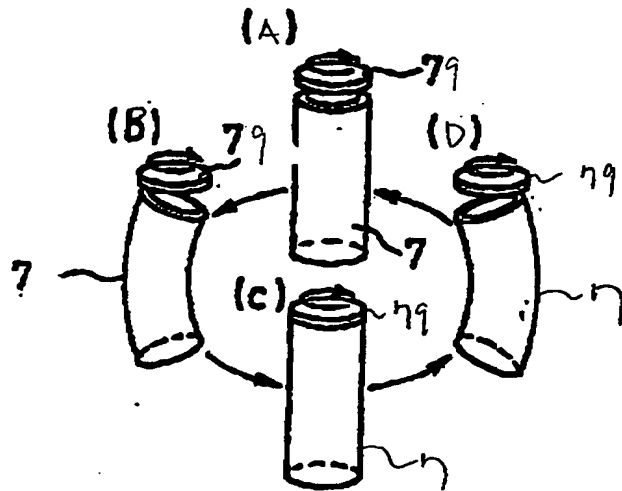
(C)



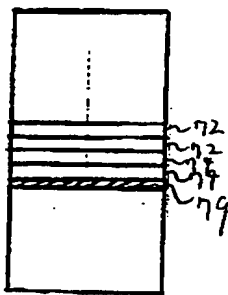
(D)



【図8】



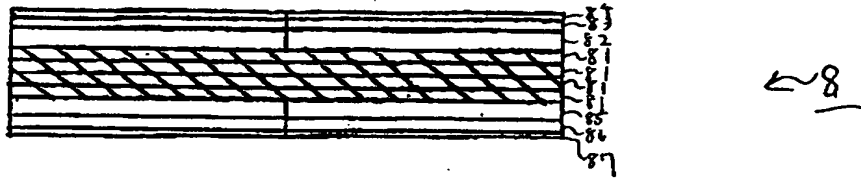
【図9】



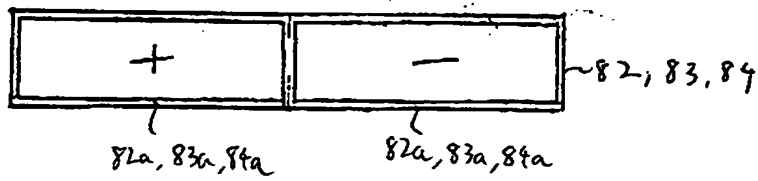
← 7a

【図 10】

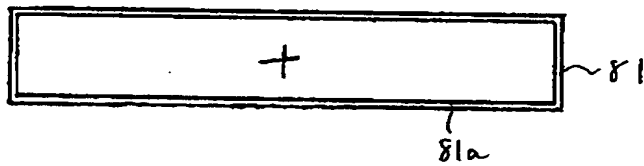
(A)



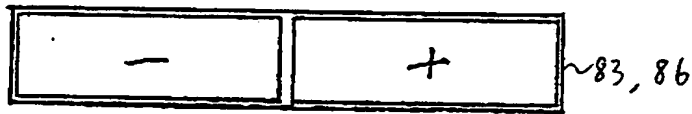
(B)



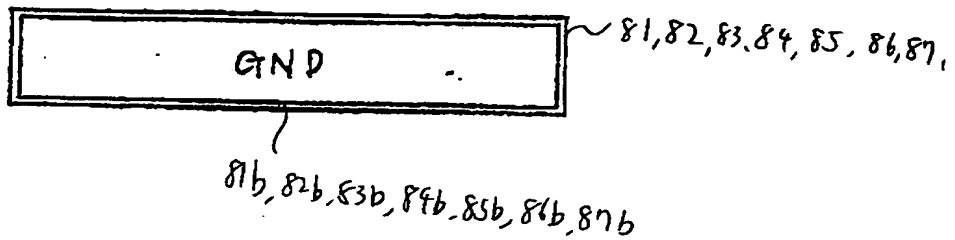
(C)



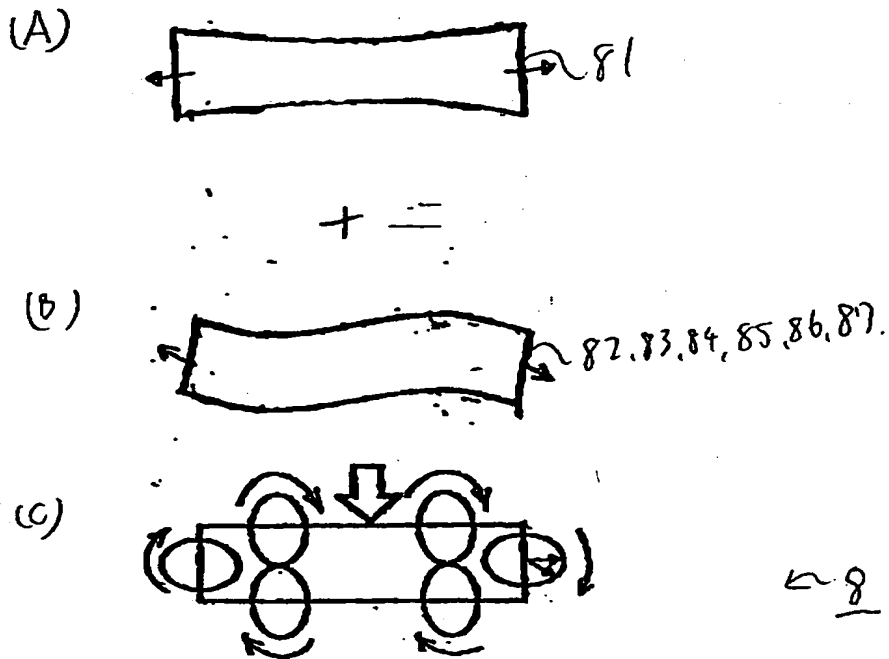
(D)



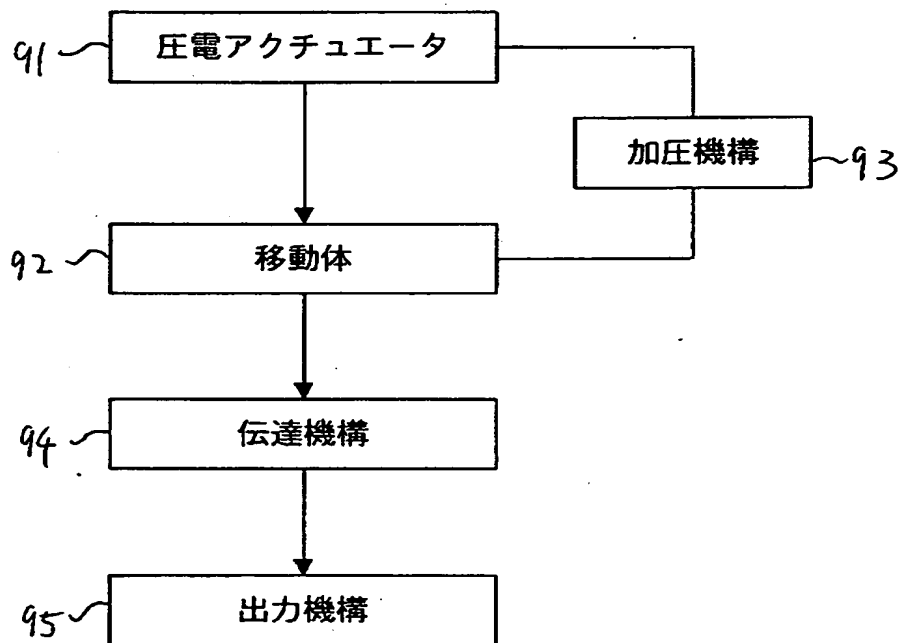
(E)



【図 11】

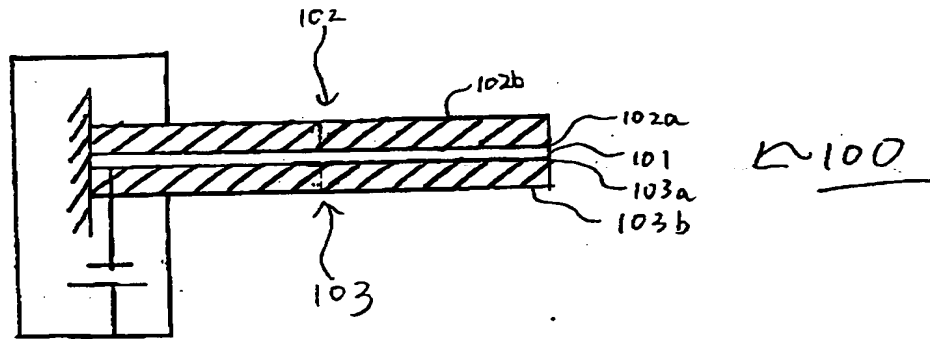


【図12】

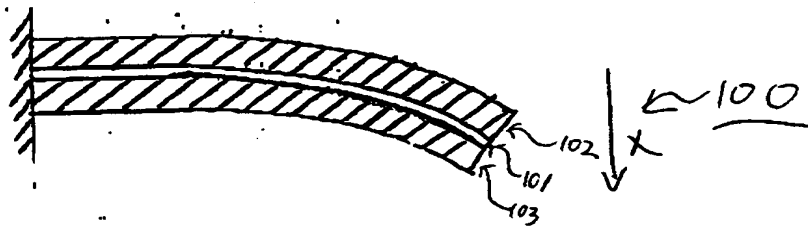


【図 13】

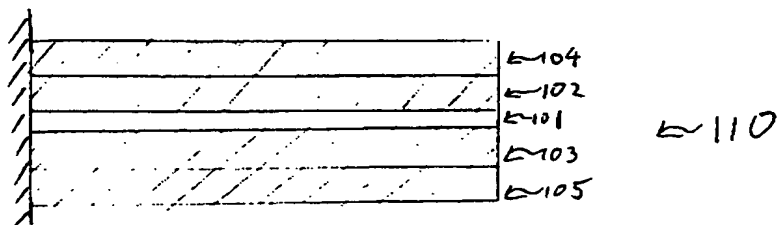
(A)



(B)



(C)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 駆動力を大きくした超音波モータを提供する。

【解決手段】 6枚の圧電体11, 12, 13, 14, 15, 16を一体的に積層したバイモルフ型の圧電アクチュエータ1である。圧電体12は圧電体11より薄くて圧電体11と同一の電圧にて同一の方向に伸長・収縮し、圧電体13は圧電体12より薄くて圧電体11と同一の電圧にて同一の方向に伸長・収縮する。圧電体14は圧電体11と同一の電圧にて逆方向に収縮・伸長し、圧電体15は圧電体14より薄くて圧電体14と同一の電圧にて同一の方向に収縮・伸長し、圧電体16は圧電体15より薄くて圧電体14と同一の電圧にて同一の方向に収縮・伸長する。このため、圧電体11, 12, 13, 14, 15, 16の各々の伸長・収縮は、他の圧電体の伸長・収縮を妨げることなく、すべて駆動力に寄与する。従って、圧電アクチュエータ1は、簡単な構造であり、かつ、従来より出力及び効率を増大させた圧電アクチュエータとなるので、同一出力においては、従来と比べて小型化できるとともに消費電力を減少できる。

【選択図】 図1



【書類名】

職権訂正データ

【訂正書類】

特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】

000002325

【住所又は居所】

千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地

【氏名又は名称】

セイコーインスツルメンツ株式会社

【代理人】

申請人

【識別番号】

100096286

【住所又は居所】

千葉県松戸市千駄堀1493-7 林特許事務所

【氏名又は名称】

林 敬之助

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002325]

1. 変更年月日 1997年 7月23日

[変更理由] 名称変更

住 所 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地

氏 名 セイコーインスツルメンツ株式会社